



Universidad de Oviedo

MÁSTER EN RECURSOS GEOLÓGICOS E INGENIERÍA GEOLÓGICA

# CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO PEGMATÍTICO DE PANCEIROS Y LA PEGMATITA DE PRESQUEIRA: --- EVALUACIÓN DE SU INTERÉS COMO FUENTE DE ELEMENTOS ESCASOS

Ana Roza Llera

Julio, 2014

Trabajo Fin de Máster

Dña. Ana Roza Llera, autora del trabajo fin de máster titulado “*Caracterización del campo pegmatítico de Panceiros y la pegmatita de Presqueira: evaluación de su interés como fuente de elementos escasos*”, certifica que constituye un trabajo original y solicita su presentación.

En Oviedo, a Julio de 2014

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of fluid, connected strokes that form a stylized representation of the name Ana Roza Llera.

Fdo.: Ana Roza Llera

La Dra. M<sup>a</sup> Mercedes Fuertes Fuente, profesora titular del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, certifica que ha dirigido y revisado el Trabajo de Fin de Máster titulado “*Caracterización del campo pegmatítico de Panceiros y la pegmatita de Presqueira: evaluación de su interés como fuente de elementos escasos*”, realizado por Dña. Ana Roza Llera, y autoriza su presentación.

Oviedo, Julio de 2014

A handwritten signature in black ink, featuring a large, prominent loop at the beginning followed by several smaller, connected strokes, representing the name Mª Mercedes Fuertes Fuente.

Fdo.: M<sup>a</sup> Mercedes Fuertes Fuente

## AGRADECIMIENTOS

Una vez finalizado este Trabajo Fin de Máster, me gustaría dejar unas palabras de agradecimiento, a todas aquellas personas, que de una forma u otra, hicieron posible su realización.

En primer lugar, quiero agradecer a la directora de este trabajo, Mercedes Fuertes Fuente, por haberme dado la oportunidad de realizarlo y por su paciencia y apoyo. Gracias a ella, he podido descubrir unas rocas, que aunque en un principio parecían hostiles por su entorno rodeado de tojos y tábanos, acabaron siendo apasionantes. Gracias por descubrirme el mundo de las pegmatitas.

A Toñi por su ayuda, especialmente con los granates.

A Manuel Prieto (Solid Resources), por la oportunidad de recoger muestras de la pegmatita de Presqueira y por la información facilitada.

A Miguel Ángel Fernández González de los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Oviedo por su ayuda en la realización de análisis con microsonda electrónica.

A mis compañeros de máster, en especial a Miguel y a Didi con los que compartí aula y “preguntas varias”, nunca dijisteis no puedo.

Y, por último a mi familia, a Marcos y a Berto, por su apoyo incondicional.

## RESUMEN

En el Suroeste de Galicia (España), cerca de las localidades de Cerdedo y Presqueira (Pontevedra), se localiza un campo pegmatítico que no ha sido caracterizado previamente, el campo pegmatítico de Panceiros. En el mismo entorno geográfico, se sitúa una pegmatita no aflorante que está siendo explorada actualmente por una empresa minera, la pegmatita de Presqueira. Esta pertenece al campo pegmatítico definido en la bibliografía como Forcarey Sur.

Geológicamente las pegmatitas estudiadas se ubican en el Dominio Esquistoso de la Zona de Galicia-Tras-os-Montes. El campo pegmatítico de Panceiros se encuentra encajado en los metasedimentos del Grupo Santa Baia, posible autóctono, mientras que la pegmatita de Presqueira intruye en los esquistos del Grupo Paraño (Parautóctono). Estas pegmatitas evidencian una intensa deformación posiblemente relacionada con la bandas de cizalla subvertical que actuaron en esta zona durante la tercera fase de deformación Varisca.

Las características mineralógicas, petrológicas y geoquímicas (roca total y mineral) han permitido clasificar las pegmatitas de Panceiros como pertenecientes a la clase de elementos escasos y, dentro de esta, de tipo estéril. En este mismo sentido, la pegmatita de Presqueira también pertenecería a la clase de elementos escasos pero al tipo compleja de petalita. Las pegmatitas de Panceiros presentan contenidos moderados en Rb y bajos en Li, Cs, Be, Ta, Nb y Sn. Por el contrario, la pegmatita de Presqueira presenta contenidos más elevados en estos elementos escasos, destacando el litio y, en menor proporción tántalo, niobio y estaño. El cesio y rubidio en todas las pegmatitas estudiadas están como trazas en feldespatos y moscovita. Además, la pegmatita de Presqueira tiene una mineralización de elementos escasos formada por espodumena, montebrasita, relictos de petalita, casiterita tantalífera y óxidos del grupo de la columbo-tantalita y de la tapiolita. En todas estas pegmatitas se distingue una etapa primaria de cristalización magmática de los principales silicatos y etapas tardi-magmáticas de reemplazamiento de estos, representadas por paragénesis fosfatadas y albitización del feldespato potásico. En las pegmatitas de Panceiros estos fosfatos son fluorapatito y eosphorita-childrenita, con una etapa más tardía caracterizada por manganoapatito. En el caso de la pegmatita de Presqueira, hay una primera etapa con fluorapatito, montebrasita y goyacita, y una etapa tardía con vivianita y messelita.

El estudio geoquímico de los halos de alteración entorno a las pegmatitas ha puesto en evidencia que tanto en las pegmatitas de Panceiros como en la de Presqueira hay un aporte al encajante de Cs, Rb, Li y Sn, además de boro evidenciado por la neoformación de turmalina.

Finalmente, la geoquímica de roca total y mineral en los tres granitos que afloran en el área de estudio indica que cualquiera de ellos tiene características que se ajustarían a las de un granito fértil del que puedan derivar pegmatitas de elementos escasos. No obstante, el mayor grado de diferenciación del “granito de dos micas de grano fino a medio” hace pensar que este sea el granito parental.

## ABSTRACT

In south-western Galicia (Spain), near the villages of Cerdedo and Presqueira (Pontevedra), a pegmatite field that has not been previously characterized, the Panceiros pegmatitic field, is located. In the same geographical area, a non-outcropping pegmatite that is currently being explored by a mining company, the Presqueira pegmatite, occurs. This body belongs to the previously defined Forcarei Sur pegmatitic field.

From a geological point of view, the studied pegmatites are located in the Schistose Domain of the Galicia Tras-Os-Montes Zone. The Panceiros pegmatite field is hosted by metasediments of the Santa Baia Group, probable autochthon, while Presqueira pegmatite is hosted by schist of the Paraño Group (Parautochthon). These pegmatites show an intense deformation, probably related to sub-vertical shear zones that affected this area during the third deformation phase of Variscan Orogeny.

The mineralogy, petrology together with the whole rock and mineral geochemistry of these pegmatites allow us to classify the Panceiros pegmatites as belonging to the rare-element class and barren type. Similarly, Presqueira pegmatite also belongs to the rare-element class although to the complex type and petalite subtype. The Panceiros pegmatites have moderate Rb contents and low concentrations of Li, Cs, Be, Ta, Nb and Sn. On the contrary, Presqueira pegmatite is enriched in these rare-elements, mainly in lithium but also in tantalum, niobium and tin. In all the studied pegmatites cesium and rubidium occur as trace-elements in feldspars and muscovite. Furthermore, the Presqueira pegmatite has a rare-element mineralization of spodumene, montebrasite, relict petalite, tantaliferous cassiterite and members of the columbo-tantalite and tapiolite groups. All the studied pegmatites show a magmatic stage characterized by the crystallization of the major silicates, and later-magmatic stages characterized by the replacement of these silicates by phosphate paragenesis and by K-feldspar albitization. In Panceiros pegmatites, these phosphates are fluorapatite and eosphorite-childrenite, and a later stage represented by manganoapatite. In the case of the Presqueira pegmatite, there is an early stage of montebrasite, goyazite and fluorapatite, and a late stage with vivianite and messelite.

The geochemistry study in the alteration halos of the studied pegmatites puts into evidence an addition of Cs, Rb, Li and Sn, apart from boron revealed by the presence of neoformed tourmaline, in both Panceiros and Presqueira pegmatite-wallrocks.

Finally, the whole rock and mineral geochemical study of the three outcropping granites in the studied area indicates that all of them share features with fertile granites of derivative rare-element pegmatites. However, the highest degree of differentiation of the “medium to fine-grained two-mica granite” suggests that this is the more probable parental granite of these pegmatites.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Definición.....	1
Interés económico .....	1
Clasificación.....	2
Clase Abisal (AB) .....	3
Clase Moscovítica (MS) .....	4
Clase moscovítica-elementos escasos (MSREL) .....	4
Clase de elementos escasos o raros (REL).....	4
Clase Miarolítica (MI) .....	5
Yacimientos de pegmatitas en España.....	8
ÁREA DE ESTUDIO: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....	10
Geología del área de estudio.....	12
Litoestratigrafía .....	12
Tectónica .....	12
Metamorfismo .....	12
Rocas graníticas.....	13
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS .....	16
METODOLOGÍA .....	18
Trabajo de campo .....	18
Trabajo de laboratorio .....	18
Trabajo de gabinete .....	19
EL CAMPO PEGMATÍTICO DE PANCEIROS .....	21
Caracterización de campo.....	21
Caracterización mineralógica y petrológica.....	25
LA PEGMATITA DE PRESQUEIRA .....	42
Caracterización de campo.....	42
Caracterización mineralógica y petrológica.....	43
GEOQUÍMICA .....	73
GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL .....	73
GEOQUÍMICA MINERAL .....	93
CONCLUSIONES .....	100
REFERENCIAS .....	104

## INTRODUCCIÓN

### Definición

Las pegmatitas son rocas ígneas que se han distinguido de otras rocas ígneas por su tamaño de grano mayor, siendo definidas más por su textura que por su composición. Aunque en la definición clásica se caracterizan por ser rocas de tamaño de grano grueso o extremadamente grueso, sin embargo, pueden presentar gran variación en tamaño de grano, desde fino, pegmoaplita, a muy grueso, pegmatita. Algunas pegmatitas desarrollan zonados, produciéndose un aumento de tamaño de grano desde el borde hacia el centro del cuerpo, mientras que en otras se observa una textura prácticamente porfídica.

La definición más reciente de pegmatita (London, 2008) es “roca esencialmente ígnea, normalmente de composición granítica y tamaño de grano variable que presenta abundantes texturas minerales indicativas de un crecimiento direccional, y que forma cuerpos claramente delimitables y diferenciados de las rocas ígneas o metamórficas en la que se encuentran”. Dentro de las características más importantes de las pegmatitas están, además de la variación de tamaño de grano, las fábricas anisotrópicas, la heterogeneidad química y el fraccionamiento químico.

Las fábricas anisotrópicas más destacables son la disposición de los cristales de mayor tamaño con sus ejes largos perpendiculares al contacto del cuerpo pegmatítico con el encajante, originando texturas “en peine”. También suelen presentar texturas gráficas y esqueléticas, así como texturas aplíticas formando con frecuencia un marcado bandeo en los cuerpos. En cuanto a la heterogeneidad química, esta incluye tanto un zonado químico en cristales individuales como un zonado en las asociaciones minerales a lo largo del cuerpo pegmatítico. Por último, el fraccionamiento químico puede ser dentro de pegmatitas individuales o entre grupos de pegmatitas relacionadas genéticamente. Un aumento en el grado de fraccionamiento implica un incremento en el contenido de elementos incompatibles, tales como Li, Rb, Cs, Be, B, F, P, Nb, Ta, Zr, Hf, Sn o U.

### Interés económico

Las pegmatitas pueden tener concentraciones lo suficientemente altas en metales escasos o raros (rare-elements) como para ser explotadas. Dentro de los denominados metales escasos se incluyen elementos del grupo de las tierras raras (REE), elementos litófilos de gran radio iónico (LILE) y elementos de alto potencial iónico (HFSE). Gran parte de estos elementos se denominan actualmente metales High-Tech o de las nuevas tecnologías y su demanda ha aumentado notablemente en la última década. El tántalo se utiliza casi exclusivamente en la fabricación de condensadores electrolíticos de tántalo, componente esencial de los dispositivos electrónicos muy compactos como teléfonos móviles, GPS, satélites artificiales, armas teledirigidas, ordenadores portátiles, etc. El cesio metálico se usa principalmente en células fotoeléctricas. El niobio se utiliza para ligar componentes de acero

inoxidable, como imanes superconductores (aleación niobio-titanio) y también se utiliza en lentes y pantallas de cristal para mejorarlas.

Por otro lado, las pegmatitas son una de las primeras fuentes de materiales cerámicos, entre los que se encuentran cuarzo, moscovita, feldspatos, aluminosilicatos de litio y fosfatos de litio. La ventaja con la que cuentan estas rocas es la pureza y el gran tamaño de grano de estos minerales industriales.

Por último, las pegmatitas son uno de los principales yacimientos de minerales con interés gemológico como rubí, zafiro, esmeralda, aguamarina, topacio y diferentes variedades de turmalina o apatito.

### **Clasificación**

Desde hace un siglo la observación de pegmatitas con diferente mineralogía, geoquímica, textura e interés económico, ha sido objeto de numerosos intentos de crear una clasificación general para estas rocas (Černý y Ercit, 2005). Se han aplicado una variedad de criterios como la estructura interna, las relaciones paragenéticas, la geoquímica de roca total, aspectos petrogenéticos y asociaciones geoquímicas características. Los primeros intentos de clasificación se presentan en los trabajos de Jahns (1955), Schneidehöhn (1961), Solodov (1971), Ginsburg et al. (1979) y Černý (1982).

Ginsburg et al. (1979) distingue cuatro clases (abisal, moscovítica, elementos raros o escasos y miarolítica) basadas en el emplazamiento cortical y en su relación con el metamorfismo y con los plutones graníticos. Černý y Ercit (2005) realizan una nueva revisión de esta clasificación, en la que incluyen otra clase (moscovítica-elementos escasos).

Černý (1990, 1991a, b) propuso una clasificación más petrogenética, modificada posteriormente por Černý y Ercit (2005) en la que se distinguen tres familias de pegmatitas: NYF, LTC e híbrida LTC-NYF. La familia NYF está relacionada genéticamente con granitos A e I y se caracteriza por una acumulación progresiva con el aumento del grado de diferenciación magmática de Nb, Y y F, además de Be, REE, Sc, Ti, Zr, Th y U. La familia LTC, relacionada genéticamente con granitos S y, excepcionalmente, granitos I, muestra un enriquecimiento con la diferenciación magmática en Li, Cs y Ta junto con Rb, Be, Sn, B, P y F.

Actualmente son las clasificaciones de Černý (1991a) y Černý y Ercit (2005) las que se usan de una forma más generalizada. Por lo tanto, las pegmatitas se clasifican en cinco clases principales (abisal, moscovítica, moscovítica-elementos escasos, elementos escasos y miarolítica) (figura 1) que se describirán a continuación:



Class	Subclass	Type	Subtype
Abyssal (AB)	AB-HREE		
	AB-LREE		
	AB-U		
	AB-BBe		
Muscovite (MS)			
Muscovite- Rare-Element (MSREL)	MSREL-REE		
	MSREL-Li		
Rare-element (REL)	REL-REE	allanite-monazite	
		euxenite	
		gadolinite	
		beryl	beryl-columbite
	REL-Li		beryl-columbite-phosphate
		complex	spodumene
			petalite
			lepidolite
			elbaite
			amblygonite
Miarolitic (MI)	MI-REE	albite-spodumene	
		albite-spodumene	
		topaz-beryl	
		gadolinite-fergusonite	
	MI-Li	beryl-topaz	
		MI-spodumene	
		MI-petalite	
		MI-lepidolite	

Figura 1. Clasificación de pegmatitas según Černý y Ercit (2005).

### Clase Abisal (AB)

Las pegmatitas de esta clase se emplazan en rocas metamórficas de las facies de las granulitas. Comúnmente corresponde a un producto de fusión parcial del encajante metamórfico sin que exista un granito parental ni procesos de fraccionamiento o diferenciación magmática. La mineralización en elementos escasos se restringe a un pequeño grupo de elementos del grupo HFSE (U, Th, Y, REE, Nb, Zr) y rara vez presentan interés económico.

### Clase Moscovítica (MS)

Estas pegmatitas forman cuerpos concordantes y deformados en la misma medida que las rocas encajantes, las cuales presentan un metamorfismo de alta presión en facies anfibolíticas caracterizadas por cianita-sillimanita. Shmakin y Makagon (1972), Gorlov (1975) y Sokolov et al., (1975), consideran que estas pegmatitas son generadas directamente por fusión parcial incongruente del encajante metamórfico. Por el contrario, Bushev (1975), Gordiyenko y Leonova (1976), Ginsburg et al. (1979) y Shmakin (1976) defienden un bajo grado de diferenciación magmática a partir de un granito palingénético apenas desenraizado. En todo caso, la evidencia de enclaves del encajante metamórfico y la carencia de fraccionamiento magmático indican que las condiciones de generación del magma, su intrusión y consolidación fueron muy próximas a los del grado metamórfico de las rocas encajantes (Gordiyenko y Leonova, 1976; Ginsburg et al., 1979; Gordiyenko, 1996). En general, son pegmatitas estériles en mineralización de elementos escasos y su interés económico es por feldespatos cerámicos, cuarzo y mica industrial.

### Clase moscovítica-elementos escasos (MSREL)

Las pegmatitas de esta clase fueron tratadas históricamente como parte de alguna de las dos clases extremas, la clase moscovítica (MS) y la de elementos escasos (REL). Estas pegmatitas suelen ser discordantes con respecto a la foliación metamórfica del encajante que presenta un grado metamórfico intermedio entre el de la clase moscovítica y el de la clase de elementos escasos. La relación de estas pegmatitas con los granitos y el metamorfismo regional está poco definida. En algunos casos se ha visto una relación genética con granitos, por ejemplo, en las pertenecientes a la subclase con litio MSREL-Li (figura 1) (Gordiyenko y Leonova, 1976; Ginsburg et al., 1979; Ercit, 1992, 2005; Wood, 1996). Sin embargo, algunas pegmatitas de la subclase con tierras raras MSRE-REE carecen de una relación clara con un granito (Mineyev y Salye, 1971; Gordiyenko y Leonova, 1976). En general, las pegmatitas de esta clase contienen elevadas concentraciones de moscovita con una alta calidad para ser explotada. Además, presentan concentraciones de minerales con elementos escasos aunque raramente tienen interés económico.

### Clase de elementos escasos o raros (REL)

Estas pegmatitas se generan por diferenciación magmática a partir de un plutón granítico. Están emplazadas a profundidades de intermedias a relativamente poco profundas, mostrando una tendencia a la acumulación de elementos escasos que pueden llegar a concentraciones importantes desde el punto de vista económico. Esta es la clase más investigada y, por tanto, mejor conocida, y se divide en dos subclases: con tierras raras (REL-REE) y con litio (REL-Li).

Las pegmatitas REL-REE derivan, generalmente, de granitos de meta- a peraluminosos y de post- a anorogénico, generados en un amplio rango de profundidades corticales y normalmente bajo regímenes tectónicos distensivos (Černý, 1991a, b). Están

empobrecidas en boro y fósforo, y los contenidos en Li, Rb, Cs son bajos (Černý, 1991a; Brown, 1999; Nizamoff et al., 1999)

Las pegmatitas REL-Li se emplazan a presiones bajas, con rocas encajantes afectadas por un metamorfismo que puede ir desde la parte alta de las facies de los esquistos verdes a la facies de las anfibolitas. Estas se generan por diferenciación magmática a partir de granitos peraluminosos, sin-a tardiorogénicos y, normalmente, en regímenes tectónicos compresivos (Černý, 1991a, b). Esta subclase es la más diversificada con varios tipos y subtipos como se observa en la figura 1. Una característica común a todas estas pegmatitas es la presencia de Li, Cs, Rb, Be, Sn, Nb < Ta, B, P y F que se acumulan con el progreso de la diferenciación magmática. Estas pegmatitas presentan concentraciones importantes de minerales portadores de los elementos mencionados, algunos de los cuales dan nombre a los distintos tipos y subtipos (ej.: berilo, espodumena, petalita, elbaíta, pollucita, euxenita, columbo-tantalita, etc).

#### Clase Miarolítica (MI)

Las pegmatitas de esta clase se emplazan a niveles corticales muy someros, muchas veces subvolcánicos, originando cavidades resultantes del atrapamiento de burbujas de una fase vapor separada del fundido pegmatítico. Aunque estas cavidades están presentes en todas las pegmatitas, son las de esta clase, las que presentan una mayor abundancia (cf. Černý 2000; Ercit, 2005). En general, son pegmatitas estériles en mineralización de elementos escasos y su interés económico es para la extracción de minerales de calidad gemológica.

#### **Estructura interna y distribución regional de las pegmatitas**

En la prospección de yacimientos minerales en pegmatitas, principalmente de la clase de elementos escasos, la estructura interna de los cuerpos y la distribución regional de estas rocas tienen un papel importante. La estructura interna de un cuerpo pegmatítico suele ajustarse a alguna de estas tres categorías principales: pegmatitas con estructura homogénea, con estructura bandeada y con estructura zonada.

Las pegmatitas con una estructura homogénea son de gran tamaño de grano y presentan una distribución uniforme de sus minerales.

Las pegmatitas zonadas son las más comunes, y siguiendo el modelo de Heinrich (1948) y Cameron et al. (1949) presentan tres unidades principales:

- Zonas de cristalización primaria, concéntricas, que difieren en paragénesis y textura. Así desde el contacto hacia el interior de los cuerpos hay un aumento progresivo del tamaño de grano, una disminución del número de minerales diferentes, y un cambio en las texturas, desde aplíticas o graníticas (“zona de borde”), a heterogéneas o gráficas (“zona de pared”), a cristales de gran tamaño, frecuentemente de feldespato potásico (“zona intermedia”), y finalmente un núcleo monomineral de cuarzo (Figura 2).
- Zonas de reemplazamiento, están formadas por minerales de grano fino, generalmente albita, moscovita o lepidolita, y reemplazan parcialmente las zonas de cristalización

primarias. En el caso de pegmatitas enriquecidas en elementos escasos, estos suelen concentrarse en estas zonas.

- Fracturas rellenas, normalmente de cuarzo, que parten del núcleo de la pegmatita y pueden atravesar las zonas de cristalización primaria. En ellas es frecuente que se localicen, en baja proporción, sulfuros.

Las pegmatitas con estructura interna bandeada se caracterizan por ser cuerpos con un marcado desarrollo de bandas aplíticas, que frecuentemente suelen concentrar la mineralización en elementos escasos, y bandas pegmatíticas. En la literatura se las conoce también con el término de pegmoaplitas.

Otra característica destacable de cara a la prospección en pegmatitas es su distribución regional. Las pegmatitas no suelen aparecer aisladas sino que se agrupan en poblaciones denominadas campos pegmatíticos. Cada campo es un área que engloba varios grupos de pegmatitas relacionados genéticamente y generados por diferenciación magmática a partir del mismo granito. Así cada grupo representa a un conjunto de pegmatitas pertenecientes a un mismo tipo o subtipo. En un campo pegmatítico, los diferentes grupos de pegmatitas se distribuyen entorno al granito parental dando una zonación regional de tipos/subtipos. En esta zonación regional de cuerpos, la concentración de metales escasos tiende a aumentar en los grupos de pegmatitas más alejados del granito a partir del cual se han originado (figura 3).

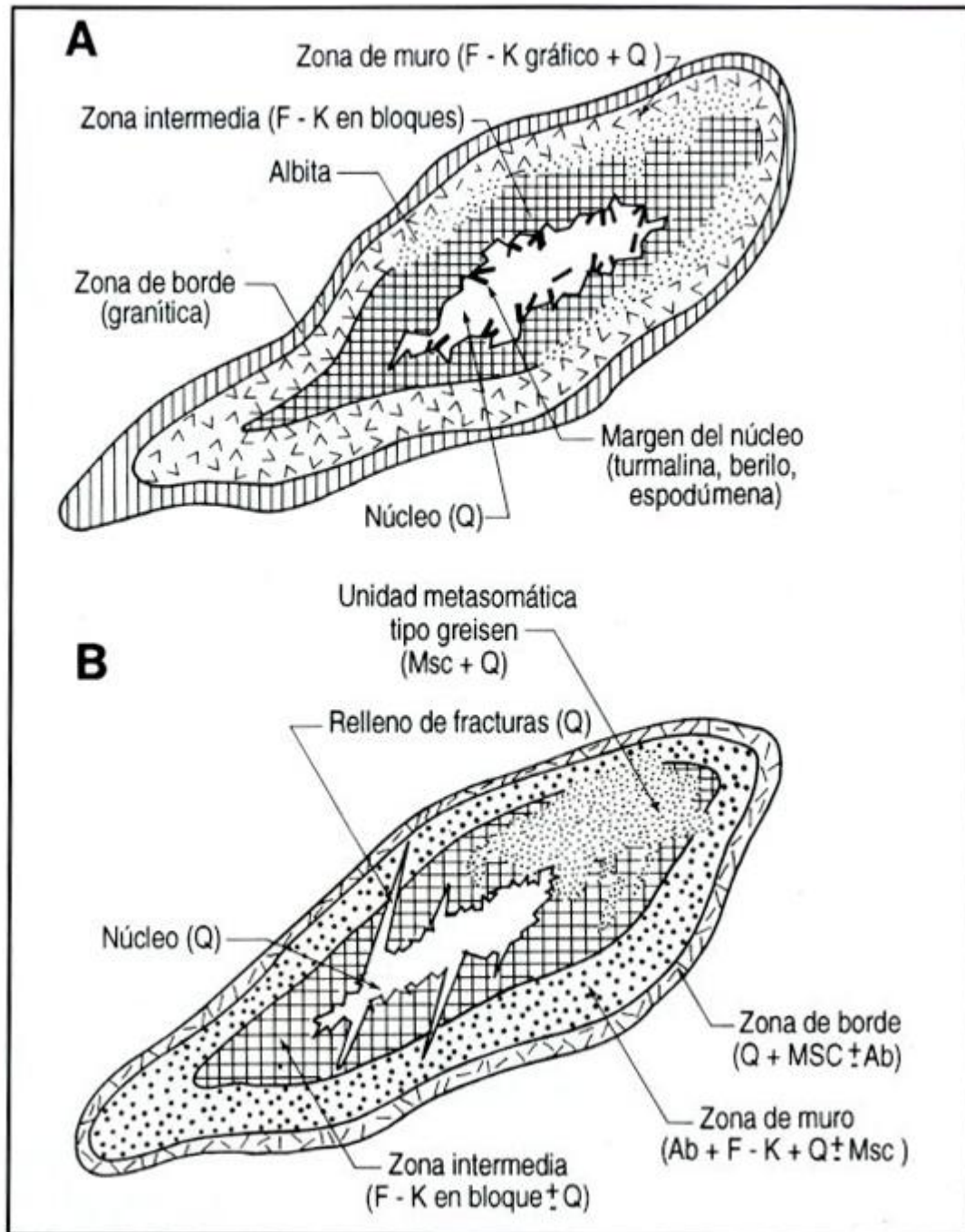


Figura 2. Estructura interna de pegmatitas zonadas en una sección horizontal esquemática. Desarrollo concéntrico de las zonas primarias, con control zonal de la distribución de unidades albiticas, y mineralización en el borde del núcleo. Según Černý 1991a.

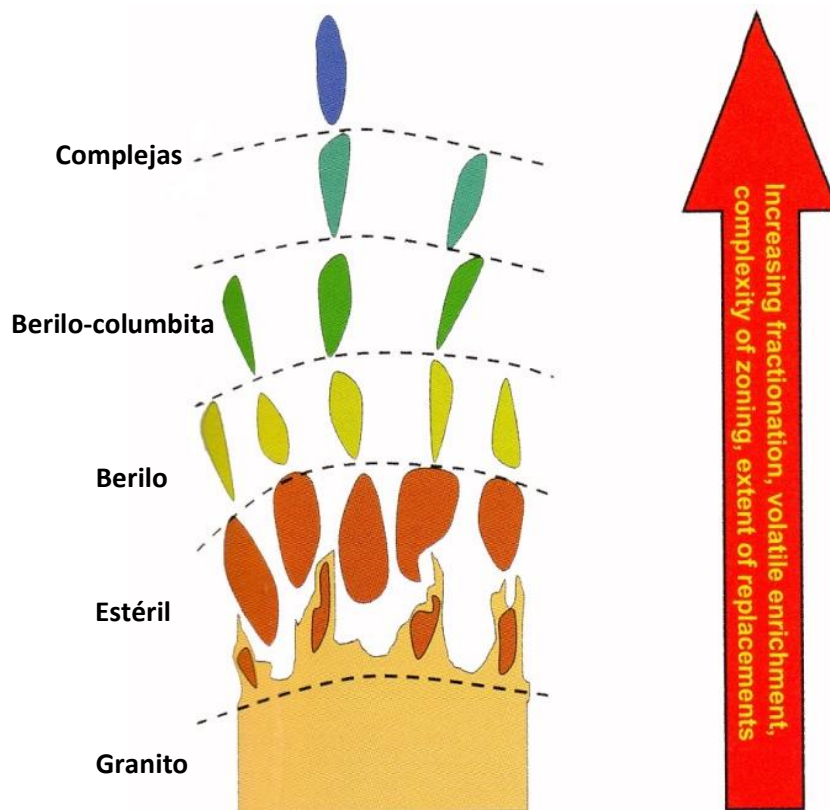


Figura 3. Zonación regional de cuerpos pegmatíticos, aumentando la concentración de elementos escasos a medida que se alejan del granito parental. Modificado de London (2008) (modificado de Trueman y Černý, 1982).

### Yacimientos de pegmatitas en España

En el Macizo Varisco español abunda este tipo de rocas y muchos de estos cuerpos pegmatíticos han sido explotados (Martín-Izard et al., 2010). Los principales campos de pegmatitas se han clasificado por los diferentes autores en las clases: moscovítica y/o abisal, miarolítica y de elementos escasos (REL). Dentro de la clase moscovítica destacan las pegmatitas de Sierra Albarrana en Córdoba (Arribas, 1967; Abad Ortega, 1993; González del Tanago, 1995), en la Zona de Ossa-Morena. Un buen ejemplo de pegmatitas pertenecientes a la clase miarolítica son las pegmatitas de la Cabrera (Madrid) (González del Tanago et al. 1986), localizadas en la Zona Centro-Ibérica. Sin embargo, son las pegmatitas pertenecientes a la clase de elementos escasos las que tienen una mayor representación en el Macizo Varisco español. En la Zona Centro-Ibérica encontramos algunos ejemplos en las provincias de Zamora, Salamanca y Badajoz, en su mayoría son pegmatitas litiníferas y/o con óxidos del grupo de la columbo-tantalita. Ejemplos son las pegmatitas de Pinilla de Fermoselle, La Fregeneda, Castillejo de dos Casas, Barquilla, Aldehuela de la Bóveda, Las Navas o Tres Arroyos (Martín-Izard et al., 1992; Gallego Garrido, 1992; Roda et al, 1999; Roda et al. 2001; Roda et al., 2005). También en el basamento Varisco de Pirineos hay ejemplos de esta clase

de pegmatitas, es el caso del campo pegmatítico del Cap Creus en Gerona (Corbella y Melgarejo, 1990; Alfonso et al., 1995; Alfonso et al., 2003). Por último, en Galicia y dentro de la Zona de Galicia Trás-os-Montes son numerosos los ejemplos de pegmatitas de esta clase como los campos pegmatíticos de Forcarey Norte, Forcarey Sur y Lalín (Fuertes-Fuente y Martín-Izard 1996a, b; 1998; 2001; Fuertes-Fuente et al., 2000a). Las pegmatitas objeto de estudio en el presente trabajo se localizan en esta zona. Cabe mencionar, también en Galicia, un ejemplo de pegmatitas españolas de interés gemológico conocidas a nivel mundial, Franqueira (Martín-Izard et al. 1995; Fuertes-Fuente et al., 2000b). Las pegmatitas de Franqueira están relacionadas con la presencia de esmeralda y alexandrita, no han sido explotadas porque estas gemas no presentaban las cualidades necesarias para su utilización en joyería.



## ÁREA DE ESTUDIO: SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y LOCALIZACIÓN GEOLÓGICA

La zona de estudio se encuentra localizada en el Suroeste de Galicia, cerca de la localidad de Cerdedo, perteneciente al municipio de Pontevedra, provincia de Pontevedra.

### Marco geológico regional

Geológicamente se sitúa en el NO del Macizo Varisco Ibérico, dentro de la Zona de Galicia Trás-os-Montes definido por Farias et al. (1987) (figura 4).

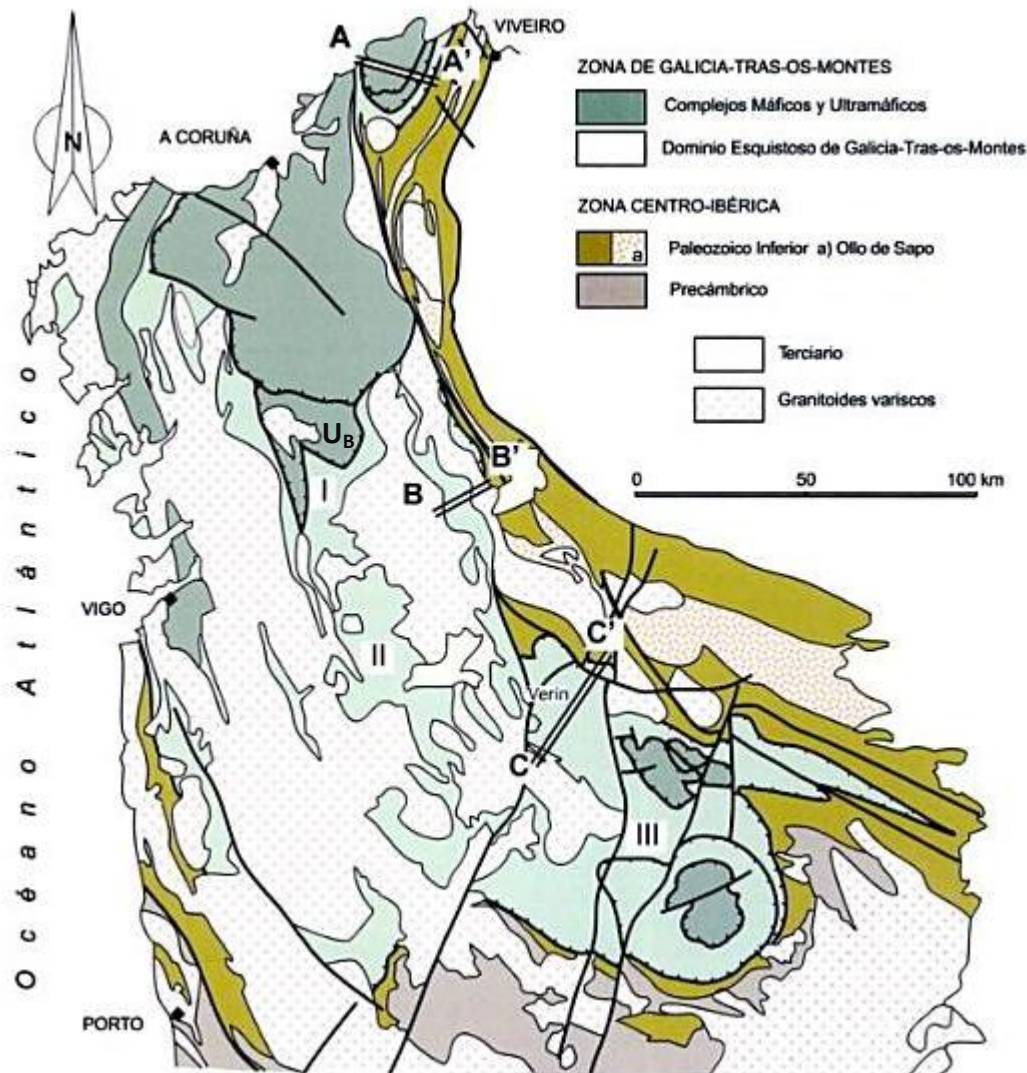


Figura 4. Mapa geológico en el que se muestra la distribución de las rocas del Dominio Esquistoso de Galicia-Trás-os-Montes, modificado de Farias et al. (1987). U<sub>B</sub>: Unidad Basal de los Complejos Máficos y Ultramáficos.

La Zona de Galicia Trás-os-Montes (ZGTM) se caracteriza por estar formada por materiales alóctonos apilados y emplazados sobre las rocas del Paleozoico Inferior y



Precámbrico de la Zona Centro-Ibérica. La ZGTM consta de dos grandes unidades: el Dominio Esquistoso de Galicia Tras-Os-Montes y los Complejos Máficos y Ultramáficos (figura 4). El Dominio Esquistoso, definido por Farias et al. (1987), y también denominado Para-autóctono, constituye una lámina alóctona emplazada sobre las rocas del Paleozóico inferior y Precámbrico de la Zona Centroibérica (Farias y Marcos, 2004). Probablemente representa el margen continental de Gondwana en su parte más externa (Marcos y Farias, 1999). Este Para-autóctono lo forma en su gran mayoría materiales metasedimentarios y se distinguen, de muro a techo, dos unidades definidas por Marquínez (1984), el Grupo Nogueira y el Grupo de Paraño. No obstante, Barrera et al. (1989) y Farias et al. (1987) definen una unidad litológica que estaría por debajo a la que denominan Grupo Santa Baia. La inclusión de este grupo dentro de la sucesión estratigráfica de la lámina Para-autóctona ha sido objeto de discusión y, actualmente, se considera que forma parte del autóctono del Dominio Esquistoso de Galicia Tras-Os-Montes (Marcos y Llana Fúnez, 2002). Los Complejos Máficos y Ultramáficos son unidades ofiolíticas y catazonales que cabalgan sobre el para-autóctono del Dominio Esquistoso y en la base de estas unidades alóctonas se sitúa la llamada “Unidad Basal” (figura 4) (Martínez-Catalán et al., 1996) constituida mayoritariamente por metasedimentos que forman el Grupo Lalín-Forcarey definido por Marquínez (1984).

Las estructuras generadas por la deformación Varisca en ZGTM están relacionadas con las tres fases principales de deformación (D1, D2 y D3) (Arenas et al., 2004; Farias y Marcos, 2004). La primera fase de deformación (D1) está representada por una foliación generalizada a escala regional junto con la formación de pliegues recumbentes, apretados y vergentes al este, que en general son escasos y de escala métrica. Estas estructuras suelen ser difíciles de localizar al estar obliteradas por deformaciones posteriores. La fase D2 se relaciona con el emplazamiento de las láminas cabalgantes, unidades alóctona y para-autóctona. La fase D3 tiene un desarrollo muy generalizado con grandes pliegues de plano axial sub-vertical y zonas de cizalla sub-verticales. Al final de la orogenia Varisca se produce el relajamiento y extensión post-colisional, con el desarrollo de varios sistemas de fallas E-W, NE-SW y NW-SE.

El metamorfismo regional fue en condiciones correspondientes a la facies de los esquistos verdes. El pico metamórfico se produjo en la interfase D2-D3, y el máximo térmico se relaciona con la intrusión de granitoides sincinemáticos relacionados con procesos de anatexia, a este grupo pertenecerían tanto los granitos como las pegmatitas asociadas objeto de este estudio. De hecho, en la ZGMT destaca la enorme abundancia de granitoides y se separan dos grandes clases según la cronología de su emplazamiento. Por un lado los granitos sincinemáticos, también conocidos como granitos de dos micas y moscovíticos, de quimismo alcalino peraluminico y emplazamiento profundo (granitos S). Su origen sería por anatexia de materiales metasedimentarios en un ambiente de metamorfismo regional. Por otro lado están los granitos post-orogénicos, de emplazamiento más superficial, en un marco tectónico distensivo, también conocidos granitos biotíticos. El quimismo de estos últimos granitoides se

caracteriza por ser más calcoalcalino, son rocas ricas en biotita con afinidad con los granitos tipo I.

## **Geología del área de estudio**

### Litoestratigrafía

En el área investigada afloran los siguientes grupos litoestratigráficos: Grupo Santa Baia, Grupo Paraño y Grupo Lalín-Forcarey. El Grupo Santa Baia, roca encajante de algunas de las pegmatitas estudiadas, lo forman principalmente esquistos y paraneisses. Este grupo se encontraría en la base de la sucesión y, como se comentó previamente, podría formar parte del autóctono del Dominio Esquistoso de Galicia Tras-Os-Montes. Por encima, y formando parte de la lámina para-autóctona, se sitúa el grupo Paraño donde intruye otra pegmatita investigada. Esta es una sucesión monótona de esquistos con intercalaciones de esquistos grafitosos, de poco espesor, y micaesquistos cuarcíferos y feldespáticos. Por encima, y en contacto mecánico por el cabalgamiento de Lalín-Forcarey, está el Grupo Lalín-Forcarey (unidad basal de los Complejos alóctonos) constituido por anfibolitas, micaesquistos feldespáticos y gneises con algunas intercalaciones de micaesquistos cuarzosos y cuarcitas y, además, niveles de ortogneises y rocas calcosilicatadas. Los datos radiométricos de edad absoluta obtenidos por Marquínez (1984) dan edades Devónicas para los ortogneises de la base del Grupo Lalín-Forcarey y establecen el tránsito entre el Silúrico y el Devónico en los materiales del Grupo Paraño.

### Tectónica

En el área de estudio la primera fase de deformación (D1) está representada por una esquistosidad S1 afectada por las deformaciones posteriores y difícil de observar (Marquínez, 1984). La segunda fase de deformación (D2), origina pliegues asimétricos, isoclinales, vergentes al Este, cuyos ejes se disponen N-S o NNW-SSE, con inclinaciones variables. Se puede observar la geometría de estos pliegues en las venas de cuarzo que aparecen en los micaesquistos del Grupo Paraño. Asociados a estos pliegues aparece una esquistosidad S2 (Marquínez, 1984) generalizada en toda el área. La tercera y última fase de deformación (D3), produce el replegamiento de las estructuras originadas en las fases anteriores y a su vez, origina importantes zonas de cizalla de plano de flujo subvertical y una componente principal de movimiento subhorizontal (Barrera et al., 1989). Corresponden a esta fase de deformación, el sinforme de Forcarey y el antiformal de Cotobade (figura 5).

### Metamorfismo

La zona se encuentra afectada por un metamorfismo regional de presión intermedia a baja y temperatura intermedia, facies esquistos verdes-anfibolitas. Además la zona se ve afectada por un metamorfismo térmico inducido por los granitoides del área (Marquínez y Klein, 1982). Estos autores han diferenciado una serie de zonas metamórficas entre las que están, la zona de la clorita, biotita, granate, estaurolita y andalucita-feldespato potásico. La presencia de andalucita se limita a las zonas de contacto de los granitos.

Durante la primera fase, el metamorfismo es de bajo grado, formándose granates en algún punto de la interfase D1-D2. En la segunda fase aumenta la recrystalización y se sobrepasa el grado bajo de metamorfismo localmente, al final de D2 se alcanza el grado medio, apareciendo la paragénesis biotita-almándino-estauroлита en la interfase D2-D3. Es en esta interfase y el inicio de la D3, donde se produce la intrusión de los granitos de dos micas y se desarrolla la zona de andalucita en el entorno de estos (Barrera et al., 1989).

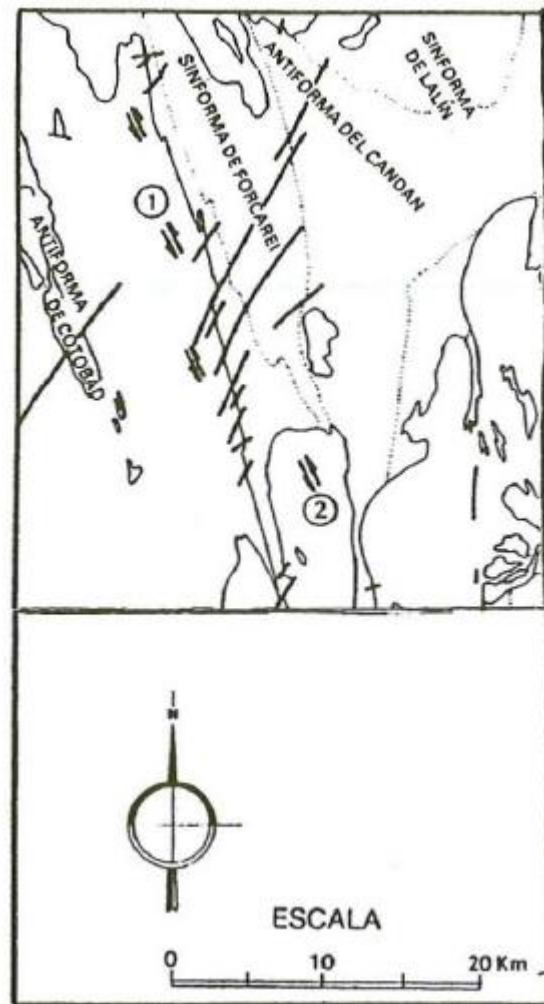


Figura 5. Esquema de situación de las principales zonas de cizalla y su sentido de movimiento 1. Zona de cizalla de Cerdedo-Monte Suido. 2. Zona de cizalla de Avi6n. (Barrera et al., 1989).

### Rocas graníticas

Las principales rocas graníticas que afloran en el 6rea de estudio (Figura 6) y que est6n relacionadas espacialmente con las pegmatitas investigadas en este trabajo corresponden a diferentes facies de granitos de dos micas sincinem6ticos. Estas facies, que se describen a continuaci6n, han sido denominadas en la cartografía 1:50.000 del IGME de la localidad de Cerdedo como: granito de dos micas de grano fino a medio, granito de dos micas de grano medio a grueso y granito inhomogéneo.

Granito de dos micas de grano medio a grueso

Este granito es bastante homogéneo y su contenido en biotita varía, habiendo zonas donde esta predomina claramente. Su contacto oriental con el Grupo Paraño es paralelo a la dirección de las estructuras regionales (figura 6). Su contacto occidental, neto en el sur pero que se pierde gradualmente hacia el norte, es con la facies de granito de dos micas de grano fino a medio. Desarrolla un metamorfismo de contacto indicado por la presencia de andalucita.

Está compuesto principalmente de cuarzo, plagioclasa, microclina, biotita y moscovita, entre los accesorios se encuentran, apatito, rutilo, circón y opacos. Presenta una fuerte deformación y se observa extinción ondulante en el cuarzo (Klein y Hilgen, 1982).

Granito de dos micas de grano fino a medio

Esta facies tienen proporciones iguales de biotita y moscovita o predomina la moscovita. Su contacto occidental, siempre neto, es con las rocas del Grupo Santa Baia y se observa la presencia de andalucita o sillimanita.

Está compuesto principalmente de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, moscovita y biotita, entre los accesorios se encuentran apatito, circón, rutilo y clorita. El cuarzo presenta una fuerte extinción ondulante y a menudo se encuentra fracturado. En general suele tener una textura equigranular aunque, ocasionalmente, el feldespato potásico forma pequeños megacristales que nunca llegan a ser numerosos (Klein y Hilgen, 1982).

Granito de dos micas inhomogéneo

Este granito constituye una mezcla de granitoides, dentro de los cuales se incluyen el granito de dos micas de grano medio a grueso, el granito de dos micas de grano medio a fino y enclaves de rocas básicas. Este granito de dos micas inhomogéneo ha originado una aureola de contacto con andalucita. Granitoides migmatíticos de otras zonas de Galicia muestran una semejanza apreciable con esta facies (Klein y Hilgen, 1982).

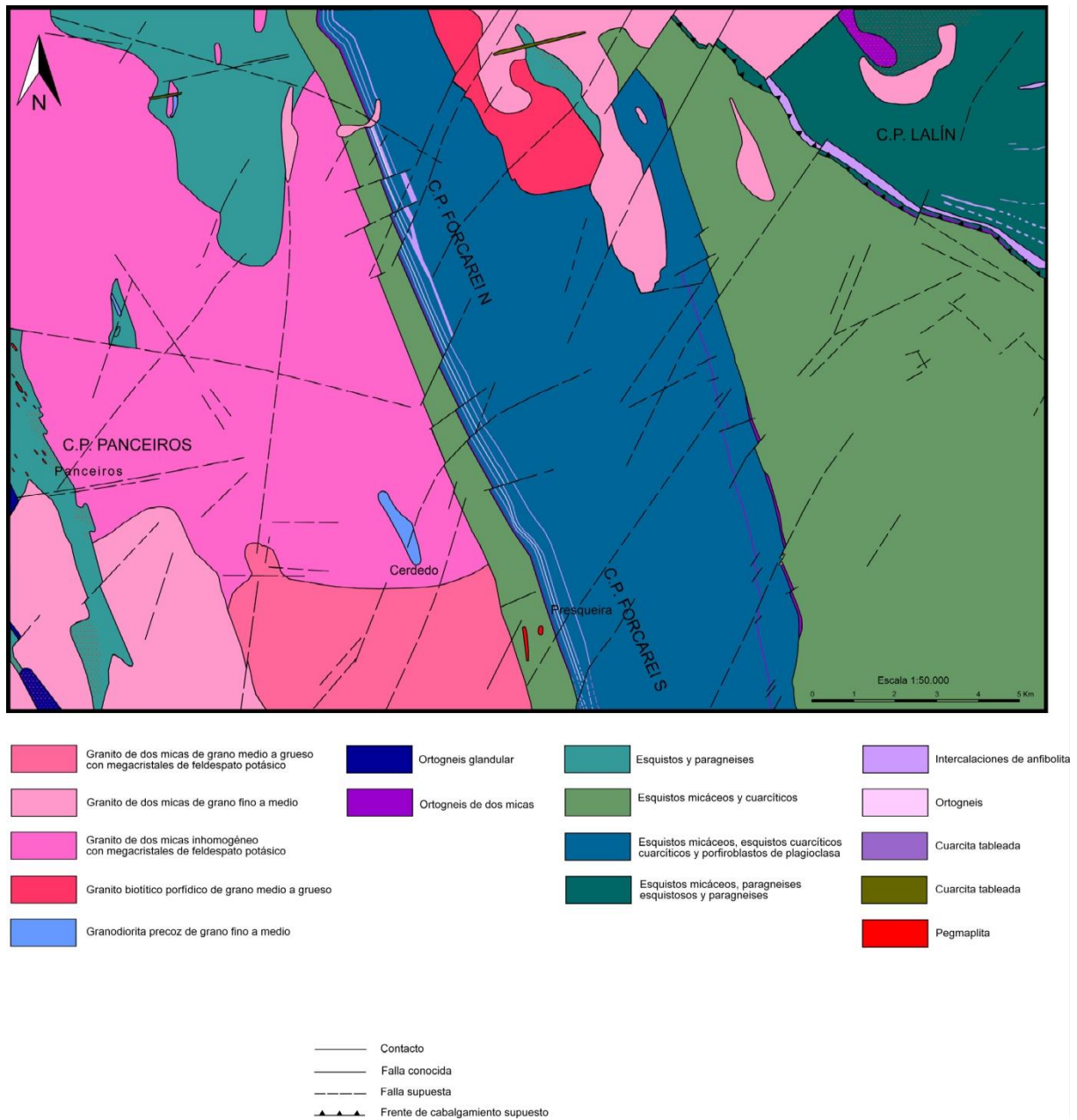


Figura 6. Mapa geológico correspondiente a la hoja 153 de Cerdedo con la ubicación de los cuerpos pegmatíticos estudiados. Modificado de Klein y Hilgen, 1979.

## ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Dentro del Dominio Esquistoso de la Zona de Galicia Media-Tras-Os-Montes afloran varios cuerpos de pegmatitas siendo muy abundantes en una región que comprende el noroeste de la provincia de Orense y el borde oriental de la provincia de Pontevedra, donde se ubica el área de estudio de este trabajo fin de máster. En esta región hay numerosas explotaciones abandonadas de cuerpos pegmatíticos, la mayoría de dimensiones muy pequeñas. A menudo se trata sólo de un filón pegmatítico explotado, seguramente a nivel familiar, muy superficial. Sin embargo, existen también zonas con varios cuerpos pegmatíticos donde pozos, galerías e instalaciones derivadas testifican importantes actividades mineras en el pasado. En este sentido, entre 1970 y 1971 la compañía Estañífera de Galicia realizó una explotación de casiterita por minería subterránea cercana a la población de Presqueira (figura 6). Posteriormente entre 1972 y 1974 el Instituto Geológico Minero de España (IGME) realiza un estudio general de la zona para determinar las posibles mineralizaciones de estaño y wolframio. Entre 1981 y 1985 la empresa ADARO realiza una investigación en la zona, realizando cartografía, geoquímica, excavación de zanjas y perforación de sondeos. En 1982, las empresas SEVELAR y RÍO IBEX comienzan un programa de exploración y sondeos cerca de antiguas minas en el entorno de Doade (pueblo situado a unos pocos kilómetros al Sur de Presqueira), al SE de Lalín (figura 6). Desde el año 2000 hasta la actualidad la empresa Solid Resources (Iberian Minerals Ltd. desde junio de este año) ha llevado a cabo un programa de exploración y sondeos en esta misma área (Bartlett, S. C., 2014).

El primer trabajo científico en relación con pegmatitas en el área de estudio es el de Ypma (1966), se señala que las “pegmoaplititas” de mayor interés mineralógico y económico se sitúan en el límite entre las provincias de Pontevedra y Orense, entre Lalín, Cerdedo y Avión. Según este autor, en las proximidades de las localidades de Cerdedo y Doade es donde se encuentra la pegmatita de mayor tamaño (24 km de longitud) aunque el cuerpo no es continuo. Hensen (1967) realiza estudios más detallados en las pegmatitas que estaban siendo explotadas en aquellos años o habían sido explotadas parcialmente. Este autor describe pegmatitas cerca de Doade, explotadas para casiterita y berilo, estableciendo una posible génesis por diferenciación magmática a partir del complejo granítico que aflora en el borde occidental del área.

Fuertes-Fuente (1996), Fuertes-Fuente y Martín-Izard (1996a, b, 1998, 2001) y Fuertes-Fuente *et al.* (2000) llevaron a cabo la caracterización de pegmatitas que afloran en el Dominio Esquistoso de Galicia Media Tras-os-Montes. Estas investigaciones permitieron establecer en esta región tres campos pegmatíticos (Forcarey Norte, Forcarey Sur y Lalín) derivados por diferenciación magmática de diferentes granitos peraluminicos moscovíticos. Las pegmatitas de los campos de Forcarey Norte y Lalín estarían emplazadas tanto en el Para-autóctono (Grupo Paraño) como en la Unidad Basal del Alóctono (Grupo Lalín-Forcarey). Los cuerpos que constituyen el campo de Forcarey Sur tienen como único encajante, los



metasedimentos del Grupo Paraño. De acuerdo a estos autores, la mayor parte de estas pegmatitas pertenecerían a la clase de elementos escasos, no obstante algunas tendrían características intermedias entre la clase de elementos escasos y la clase moscovítica. Los cuerpos que forman cada campo están relacionados genéticamente y en cada campo se distinguen varios grupos pegmatíticos, cada uno de los cuales está constituido por pegmatitas similares pertenecientes a un tipo o subtipo particular, que forman una secuencia espacial con un grado de diferenciación que aumenta con la distancia al granito parental. Fuertes-Fuente et al. (2000) establecieron las condiciones termobarométricas de formación de estos cuerpos entre 2,5Kb y 3Kb a temperaturas entre 450°C y 550°C

Todos estos trabajos se centraron en las áreas donde las pegmatitas eran especialmente abundantes y/o presentaban mineralizaciones de elementos escasos. No obstante, en el Dominio Esquistoso de Galicia Central existen áreas de menores dimensiones y con un número más reducido de pegmatitas aflorantes que no han sido caracterizadas previamente, ni desde un punto de vista mineralógico y petrológico, ni en relación a la presencia mineralizaciones en elementos escasos. Este es el caso de las pegmatitas objeto de este trabajo fin de máster, que hemos denominado en su conjunto campo pegmatítico de Panceiros, y del que no existen referencias bibliográficas previas.

Por otro lado, y como se comenta al principio de este apartado, los trabajos avanzados de exploración que desde 2003 lleva realizando la empresa Solid Resources en el campo pegmatítico de Forcarey Sur nos han permitido recoger información, a través de sondeos y galerías de exploración. En este sentido, esta empresa ha delimitado un cuerpo no aflorante de dimensiones notables situado en el extremo norte de este campo y que presenta concentraciones económicamente interesantes en elementos escasos. Este cuerpo, al que hemos denominado pegmatita de Presqueira ha sido también investigado durante la realización de este trabajo fin de máster.

Por tanto, los objetivos de este trabajo son, por un lado, la caracterización del conjunto de pegmatitas que hemos agrupado bajo el nombre de campo pegmatítico de Panceiros (figura 6) así como la pegmatita de Presqueira perteneciente al Campo pegmatítico de Forcarey Sur recogido en la bibliografía previa. La caracterización de estos cuerpos, que nos permitirá obtener información sobre su génesis, incluye un estudio detallado tanto de la morfología, la estructura interna y las relaciones con la roca encajante, como de la mineralogía, petrología y geoquímica de roca total y mineral. Por otro lado, otro objetivo buscado es evaluar el posible interés económico como fuente de elementos escasos de las pegmatitas de Panceiros y su comparación con la pegmatita de Presqueira. En este mismo sentido, y de cara a la búsqueda de herramientas para la exploración de mineralizaciones de elementos escasos, otro objetivo planteado es investigar la posible existencia de halos de alteración con una impronta geoquímica característica en las rocas encajantes del entorno de estos cuerpos.

## **METODOLOGÍA**

La metodología llevada a cabo en la realización de este trabajo fin de máster puede agruparse en tres etapas que se describen en detalle a continuación, una de trabajo de campo, otra de trabajo de laboratorio y otra de trabajo de gabinete.

### **Trabajo de campo**

El objetivo principal de esta etapa fue la localización de los cuerpos pegmatíticos, así como la observación de su relación con el encajante y la descripción “in situ” de las características más notables.

Al mismo tiempo, se procedió a la recogida de muestras. En función del tamaño de grano medio de los cuerpos se recogieron dos o tres bolsas de aproximadamente 2 kg por pegmatita. Una bolsa de 1,5 kg de los metasedimentos del encajante, tanto en zonas alejadas de los cuerpos pegmatíticos como en el entorno de estos, y una bolsa de aproximadamente 2 kg de los distintos granitos aflorantes en el área de estudio. En total se recogieron 27 muestras de 17 pegmatitas, 7 de metasedimentos del encajante y 3 de granito.

No ha sido objetivo de este estudio la cartografía de detalle de los cuerpos pegmatíticos, el análisis estructural y el metamorfismo del área, por lo tanto esos datos se han tomado de la bibliografía previa.

### **Trabajo de laboratorio**

Esta etapa se puede dividir en dos apartados, por un lado el estudio mineralógico y petrográfico y, por otro, el estudio geoquímico tanto de roca total como mineral.

Para el estudio mineralógico y petrográfico de las muestras tomadas en campo se prepararon láminas delgadas pulidas en la Unidad de Preparación de Muestras Geológicas ubicada en la Facultad de Geología y perteneciente a los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Oviedo. Se estudiaron un total de 45 láminas mediante microscopía óptica de transparencia y reflexión identificando las principales fases minerales y sus relaciones texturales. Para lo cual se utilizó un microscopio Leica DM2500P perteneciente al laboratorio docente de microscopia del Departamento de Geología de Oviedo.

Por otro lado, se utilizó el microscopio electrónico de barrido equipado con un espectrómetro de energía dispersiva (SEM-EDS) y la microsonda electrónica (EPM), ambos pertenecientes a los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Oviedo. La utilización de ambas técnicas tenía el fin de identificar aquellas fases minerales que planteaban dudas mediante microscopía óptica. Pero también, realizar una caracterización precisa de la composición química de determinados minerales así como poner de manifiesto zonados y relaciones texturales no visibles con microscopía óptica.

Con la ayuda del microscopio electrónico de barrido con cañón de electrones de filamento de wolframio, marca JEOL y modelo JSM-6610LV, con un espectrómetro de energía dispersiva integrado modelo INCA Energy 350-Xmax 50, se realizaron análisis



semicuantitativos que ayudaron a la identificación de determinados minerales. Simultáneamente se obtuvieron imágenes de electrones retrodispersados para establecer relaciones texturales y presencia de zonados.

La microsonda electrónica, modelo CAMECA SX-100, compuesta por cinco espectrómetros WDS (espectrómetro 1 cristales PET, TAP, PC1 Y PC3; espectrómetro 2 cristales LLIF, LPET; espectrómetro 3 cristales LLIF, LPET; espectrómetro 4 cristales LTAP, LPC2 y espectrómetro 5 cristales LLIF, LPET), un espectrómetro de energía dispersiva y detectores de electrones secundarios y retrodispersados, ha permitido la identificación de determinados minerales como son los fosfatos de estas pegmatitas y su análisis cuantitativo. Por otro lado, se cuantificaron determinados elementos traza en albita, feldespatos potásico y moscovita para lo cual se modificaron las condiciones estándar de trabajo de la microsonda electrónica a fin de obtener límites de detección más bajos. Las condiciones de trabajo usuales fueron 15 Kv, 15 nA y 5-20 seg de tiempo de conteo (excepto Sn: 80 seg) para Si, Al, Mg, K, Cl, Ca, Ti, Fe, Mn, Sn, P y F. Sin embargo, Zn, Ga, Rb, Cs, Sr y Ba fueron analizados con 20 Kv, 100 nA y de 30-60 seg para alcanzar límites de detección bajos (Zn: 88 ppm; Ga: 168ppm; Rb: 99ppm; Cs: 1289 ppm; Sr: 519 ; Ba: 111ppm). Esta técnica ha sido también imprescindible para la correcta identificación de minerales opacos, principalmente óxidos de estaño, tántalo y niobio. Las condiciones de trabajo de estos análisis para Na, Ca, Ti, Fe, Mn, W y F fueron de 15 Kv, 15 nA y 10seg (excepto W: 20seg); mientras que para Nb, S, Zn, Cd, Sn, Pb, In, Ta, Th y U se aplicaron 20 Kv, 40nA y 10 seg (20 seg para Zn). Los patrones usados fueron albita (Na), jade (Si), MgO (Mg), ortoclasa (K), vanadinita (Cl), andradita (Ca), MnTi (Mn y Ti), magnetita (Fe), apatito (P y F), SnO<sub>2</sub> (Sn), ZnS (Zn), AsGa (Ga), IR-X (Rb), celestita (Sr), CsIn (Cs) y CELS (Ba), MnWO<sub>4</sub> (W), Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(Nb), pirita (S), Cd (Cd), PbS (Pb), In (In), Ta (Ta) vidrio dopado con Th (Th) vidrio dopado con U (U).

Para los estudios geoquímicos de roca total, las muestras fueron machacadas y molidas en el Laboratorio de Geología y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo. Se procedió al machacado de las muestras con dos trituradoras de mandíbula, a continuación se cuarteo la muestra hasta obtener una cantidad aproximada de 200 gramos, reservando el material restante. La muestra obtenida fue molida mediante un molino de anillos y cuarteada de nuevo hasta obtener la fracción necesaria para su análisis químico. El análisis químico de elementos mayores y traza fue mediante espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS), y para la digestión ácida de las muestras se usó “agua regia” o “4 ácidos” dependiendo de los elementos a analizar. Estos análisis fueron llevados a cabo en el laboratorio comercial Acme Analytical Laboratories (Vancouver, Canadá).

### **Trabajo de gabinete**

Esta etapa comprende el tratamiento de los datos obtenidos con las diferentes técnicas utilizadas y la realización de microfotografías.

Para el tratamiento de los datos geoquímicos, así como, de los resultados obtenidos con la microsonda electrónica, se ha utilizado el programa Excel 2010. Para la realización de figuras ha sido de mucha utilidad el programa Freehand MXa.

Las microfotografías fueron tomadas con una cámara Canon PowerShot G2 adaptada a un microscopio óptico Zeiss AXIOLAB POL, perteneciente al Departamento de Geología (área de Cristalografía y Mineralogía) de la Universidad de Oviedo. Las fotos de campo fueron tomadas con una cámara Canon EOS 1100d.

## EL CAMPO PEGMATÍTICO DE PANCEIROS

### Caracterización de campo

El campo pegmatítico de Panceiros lo constituye un conjunto de pegmatitas con dimensiones muy variables encajadas en los esquistos del grupo Grupo Santa Baia. Los cuerpos de menor tamaño tienen longitudes inferiores a 2 metros y potencias menores de 50 cm (figura 7), no obstante los de mayores dimensiones alcanzan 30 metros de longitud y potencias entre 8 y 10 metros (figura 8a). Las dimensiones más frecuentes de estos cuerpos son en torno a 7 metros de longitud y potencias de 2 a 5 metros (figura 8b).



Figura 7. Cuerpo pegmatítico de dimensiones pequeñas (Campo pegmatítico de Panceiros).

Los cuerpos pegmatíticos se disponen orientados de acuerdo a una dirección común N175E y tienen un buzamiento subvertical. Esta dirección es coincidente con la de la foliación principal de los esquistos del grupo Santa Baia y, a su vez, es paralela al contacto de estos con el granito de dos micas Inhomogéneo (figura 6 y 9). El contacto de los cuerpos pegmatíticos con la roca encajante suele ser neto (figura 7 y figura 10a), aunque también se observa algún contacto irregular con enclaves del encajante (figura 10b). Las observaciones de campo indican que en el entorno de estos cuerpos se genera turmalinización de los esquistos (figura 11).



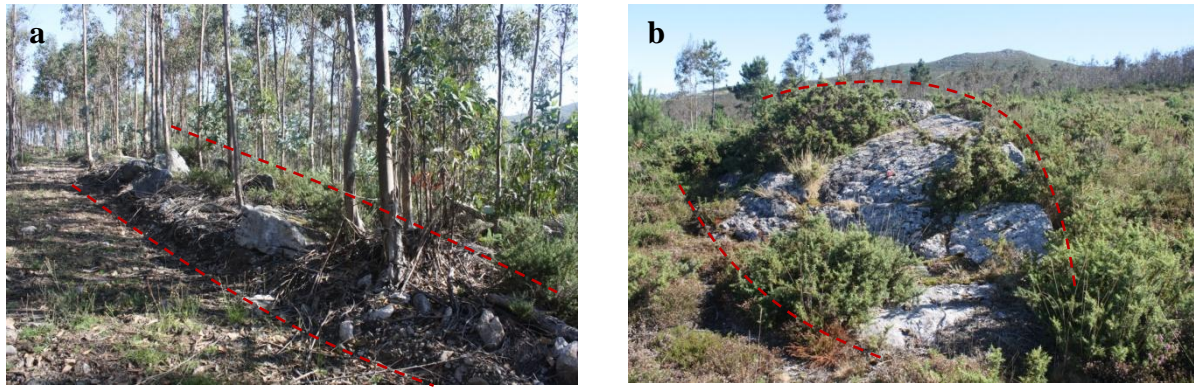


Figura 8. Pegmatitas de Panceiros: a) Cuerpo pegmatítico de dimensiones grandes con morfología tabular (filoniana). b) Cuerpo pegmatítico de tamaño medio con morfología en huso.



Figura 9. Panorámica del campo pegmatítico de Panceiros con el granito de dos micas Inhomogéneo al fondo, en rojo se ha señalado el contacto de este con los metasedimentos del Grupo Santa Baia.





Figura 10. a) Contacto neto entre una pegmatita y el esquistó encajante. b) Zona de borde de uno de los cuerpos en la que se observa un enclave del esquistó encajante dentro de la pegmatita.



Figura 11. a) Turmalinización del encajante en el entorno de uno de los cuerpos pegmatíticos. Nótese el color negro debido a la abundancia de turmalina de grano fino en la porción de esquistó señalada con la flecha roja. b) Muestra de mano de la roca encajante donde se observa turmalina.

Los cuerpos de menores dimensiones suelen acuñarse lateralmente (figura 10a y figura 12) dando lugar a morfologías en huso o aboudinadas. Estos presentan una estructura interna heterogénea, con agrupaciones o parches irregulares de varios cristales de feldespato potásico, algunos de los cuales pueden llegar hasta 60 cm (figura 13), dispersos en una matriz de grano más fino. Sin embargo, los cuerpos de mayor tamaño suelen presentar morfologías más tabulares (filonianas) y una estructura interna que manifiesta cierto bandeado. Este consiste en bandas discontinuas de textura claramente pegmatítica, constituidas mayoritariamente por feldespato potásico centimétrico, y bandas mucho más potentes y de grano más fino, que llamaremos aplíticas (figura 14). Ocasionalmente, en estas bandas aplíticas se observa una orientación preferente de los minerales muy marcada que es paralela a la dirección de estos cuerpos (N175E). Esta se podría interpretar como la superposición de una fábrica tectónica a una orientación magmática previa (figura 15).





Figura 12. Cuerpo de menor tamaño acuñándose lateralmente con morfología en huso o aboudinada.



Figura 13. Cristal de feldespató potásico de hasta 60 cm.





Figura 14. Pegmatita con estructura interna bandeada. Se observan bandas potentes de grano más fino, aplíticas, y bandas discontinuas, más estrechas, de grano grueso, pegmatíticas, con abundancia de feldespatos potásicos centimétricos.



Figura 15. Banda aplítica que muestra una orientación preferente de los minerales.

### Caracterización mineralógica y petrológica

El estudio de láminas delgadas procedentes de las muestras de los diferentes cuerpos pegmatíticos permitió establecer diferencias mineralógicas, principalmente en el porcentaje de los minerales presentes, entre las bandas de grano más grueso o pegmatíticas y las de grano más fino o aplíticas, corroborando las observaciones de campo.

En las bandas de grano más fino o aplíticas, los minerales esenciales presentes por orden de abundancia son: plagioclasa, cuarzo y mica blanca. Como minerales accesorios: granate, biotita y fosfatos.

En las bandas de grano más grueso o pegmatíticas, los minerales esenciales son, por orden de abundancia, feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y mica blanca. Los minerales accesorios son granate, fosfatos y biotita, aunque esta última es muy escasa.

En los siguientes apartados se describirán en detalle los aspectos más destacables de la mineralogía mencionada tanto desde un punto de vista textural como composicional.

#### Mineralogía

##### Silicatos

La **plagioclasa** presenta, además de las maclas típicas de crecimiento, otro tipo de maclas, más estrechas y con terminaciones en forma de cuña (figura 16), que corresponderían a maclas de deformación de acuerdo a lo que describen los autores (ej.: Starkey, 1967). La mayoría de las plagioclasas presentan estas maclas siguiendo la ley de la albita, aunque también se ven cristales con maclas dinámicas donde intersecta la ley de la albita con la ley de la periclina. La presencia de este tipo de maclas indica que este mineral ha sufrido deformación plástica intracristalina. Por otro lado, algunos cristales de plagioclasa muestran

en su interior parches relictos de feldespato potásico y abundantes inclusiones de moscovita de grano fino. Esta textura (figura 17), de acuerdo a autores como Plüumber y Putnis (2009) se explicaría por un proceso de albitización del feldespato potásico que daría lugar a la liberación de potasio y crecimiento de la moscovita. Se han realizado análisis mediante la microsonda electrónica con el fin de obtener su composición (tabla 1), certificándose que se trata de albita con una composición que varía entre  $Ab_{99,7} An_{0,3}$  y  $Ab_{98,8} An_{1,2}$ . Esta albita presenta contenidos destacables en fósforo, aunque muy variables entre cristales, desde 550 hasta 3505 ppm. Otro elemento traza es rubidio con contenidos muy similares en todas las plagioclasas analizadas, en torno a 2200 ppm. En mucha menor proporción, y no en todas las plagioclasas, hay concentraciones de bario en torno a  $140 \pm 20$  ppm (tabla 1).

El **feldespato potásico** se presenta principalmente en forma de grandes cristales. Es común la presencia de pertitas irregulares tipo vena, en transición a manchas, según la terminología de Andersen (1928). También muestra abundantes inclusiones de cristales de plagioclasa idiomórficos, maclados y de pequeño tamaño. Ocasionalmente, en el entorno de estas inclusiones el feldespato potásico carece de pertitas, esto se podría explicar por una difusión de los iones en condiciones subsólidas que daría lugar a la nucleación de estos cristales de plagioclasa a partir de las pertitas (figura 18). La composición del feldespato potásico obtenida a partir de los análisis mediante la microsonda electrónica en cristales de diferentes pegmatitas del campo de Panceiros se muestra en la tabla 2. Los elementos traza de esta fase mineral son, por orden de abundancia, rubidio, fósforo, cesio, zinc y, menos frecuente, bario. Las concentraciones en fósforo son muy homogéneas entre cristales, entre 2200 y 2500 ppm. Sin embargo, las concentraciones en rubidio varían desde 2700 hasta más de 3300 ppm. El cesio no es una traza que esté siempre presente pero cuando lo está las concentraciones alcanzan entorno 1700 ppm. En mucha menor proporción, se ha analizado zinc entre 90-150 ppm y, en algunos cristales, se ha detectado bario (120 ppm) con contenidos cercanos al límite de detección.

El **cuarzo** presenta extinción ondulante, bordes lobulados y, en algunos casos, desarrollo de subgranos. Todas estas texturas, al igual que ocurría con las descritas para la plagioclasa, son indicativas de una deformación plástica intracrystalina (figura 19). Se observan también cuarzoes elongados, debido a una mayor deformación, por procesos de recristalización dinámica (figura 20).

La **mica blanca**, de tamaño variable, presenta extinción ondulante y además kink-bands (figura 21), texturas que de nuevo indican que estas rocas han sufrido deformación. Puede presentarse como agregados de cristales con morfologías “en abanico” o “en libro”, ocasionalmente intercrecidas con el feldespato potásico (figura 22). Mediante la microsonda electrónica se han realizado análisis con el fin de obtener su composición (tabla 3). De acuerdo a la clasificación de Tischendorf et al. (2004), sería moscovita con un pequeño componente fengítico (figura 23) y contenidos de flúor entre 0,4 y 0,5 % en peso.



**CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO PEGMATÍTICO DE PANCEIROS Y LA PEGMATITA DE PRESQUEIRA:**

% en peso	PAN 1 (1)	PAN 1 (2)	PAN 1 (3)	PAN 4 (1)	PAN 4 (2)	PAN 4 (3)	PAN 4 (4)	PAN 4 (5)	PAN 4 (6)
Na <sub>2</sub> O	11,95	11,22	12,01	11,95	11,92	12,15	12,31	11,88	12,25
SiO <sub>2</sub>	67,56	66,44	68,04	67,01	67,47	68,08	68,21	67,50	67,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,95	21,13	19,85	19,97	20,08	19,57	19,72	19,99	19,78
K <sub>2</sub> O	0,14	0,17	0,10	0,15	0,14	0,15	0,11	0,11	0,10
CaO	0,13	0,15	0,11	0,26	0,24	0,13	0,07	0,12	0,07
FeO	-	0,27	-	-	-	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,48	0,80	0,40	0,54	0,47	0,13	0,23	0,51	0,50
Rb <sub>2</sub> O	0,24	0,23	0,25	0,25	0,25	0,26	0,24	0,24	0,25
BaO	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,02
Total	100,45	100,42	100,75	100,13	100,57	100,47	100,90	100,34	100,49
Fórmula estructural en base a 32 oxígenos									
Si	11,80	11,60	11,84	11,75	11,78	11,90	11,87	11,80	11,80
Al	4,11	4,35	4,07	4,13	4,13	4,03	4,05	4,12	4,08
P	0,07	0,12	0,06	0,08	0,07	0,02	0,03	0,07	0,07
Suma Z	15,98	16,06	15,97	15,96	15,98	15,95	15,95	15,99	15,95
Fe	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,02	0,03	0,02	0,05	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01
Na	4,05	3,80	4,05	4,06	4,03	4,12	4,15	4,02	4,15
K	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Suma X	4,10	3,90	4,10	4,15	4,11	4,17	4,19	4,07	4,18
Ab	99,41	99,26	99,48	98,80	98,89	99,40	99,70	99,44	99,70
An	0,59	0,74	0,52	1,20	1,11	0,60	0,30	0,56	0,30
Trazas (ppm)	PAN 1 (1)	PAN 1 (2)	PAN 1 (3)	PAN 4 (1)	PAN 4 (2)	PAN 4 (3)	PAN 4 (4)	PAN 4 (5)	PAN 4 (6)
P	2098	3502	1739	2368	2057	550	1006	2204	2181
Rb	2175	2123	2256	2242	2263	2335	2216	2204	2274
Ba	-	-	-	-	-	-	123	-	163

Tabla 1. Composiciones representativas en elementos mayores y trazas de las plagioclasas presentes en diferentes pegmatitas del campo de Panceiros. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 32 oxígenos. - por debajo del límite de detección

% en peso	PAN 1 (1)	PAN 1 (2)	PAN 4 (1)	PAN 4 (2)
Na <sub>2</sub> O	0,48	1,03	0,44	1,52
SiO <sub>2</sub>	64,38	63,71	63,09	63,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,88	19,38	18,95	18,94
K <sub>2</sub> O	16,04	15,24	16,12	15,13
CaO	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,59	0,58	0,51	0,52
ZnO	0,02	0,02	0,01	0,01
Rb <sub>2</sub> O	0,37	0,36	0,30	0,32
Cs <sub>2</sub> O	-	-	0,18	0,18
BaO	0,01	-	-	-
Total	100,78	100,31	99,62	100,23
Fórmula estructural en base a 8 oxígenos				
Si	2,96	2,93	2,94	2,94
Al	1,02	1,05	1,04	1,03
P	0,02	0,02	0,02	0,02
Suma Z	4,00	4,01	4,00	3,99
Na	0,04	0,09	0,04	0,14
K	0,94	0,89	0,96	0,89
Rb	0,01	0,01	0,01	0,01
Suma X	1,00	1,00	1,01	1,04
Trazas (ppm)	PAN 1 (1)	PAN 1 (2)	PAN 4 (1)	PAN 4 (2)
P	2595	2524	2238	2256
Zn	146	139	100	91
Rb	3384	3283	2760	2893
Cs	-	-	1726	1704
Ba	124	-	-	-
K/Rb	39,36	38,52	48,49	43,40
K/Cs	-	-	77,55	73,69

Tabla 2. Composiciones representativas en elementos mayores y trazas del feldespato potásico presente en diferentes pegmatitas del campo pegmatítico de Panceiros. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 8 oxígenos. - por debajo del límite de detección

% en peso	PAN 1 (1)	PAN 1 (2)	PAN 1 (3)	PAN 1 (4)	PAN 4 (1)	PAN 4 (2)	PAN 4 (3)	PAN 4 (4)
Na <sub>2</sub> O	0,69	0,47	0,67	0,58	0,28	0,56	0,72	0,77
SiO <sub>2</sub>	46,16	46,05	45,98	46,49	46,48	46,36	46,55	45,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,89	36,13	36,57	35,89	36,20	36,68	36,49	35,82
MgO	0,10	0,10	0,10	0,14	0,12	0,10	0,12	0,13
K <sub>2</sub> O	10,43	10,32	10,41	10,30	10,09	10,80	10,63	9,92
Cl	-	-	-	0,02	-	-	-	0,04
CaO	-	-	-	-	-	-	-	0,08
TiO <sub>2</sub>	0,06	-	0,10	-	-	0,05	0,08	0,07
FeO	2,01	2,30	1,96	2,40	2,38	1,87	2,13	2,07
MnO	-	-	-	0,08	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,07
F	0,40	0,52	0,50	0,42	0,21	0,37	0,50	0,43
ZnO	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04
Rb <sub>2</sub> O	0,25	0,25	0,25	0,36	0,23	0,25	0,28	0,25
Cs <sub>2</sub> O	0,20	0,23	0,18	0,20	-	0,22	0,21	-
BaO	0,01	-	-	-	-	0,01	-	-
Total	97,30	96,45	96,82	96,96	96,15	97,36	97,81	95,52

Fórmula estructural en base a 22 oxígenos

Si	6,08	6,13	6,09	6,16	6,16	6,11	6,12	6,14
Al IV	1,92	1,87	1,91	1,84	1,84	1,89	1,88	1,86
Suma Z	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al VI	3,81	3,80	3,81	3,76	3,82	3,80	3,77	3,79
Ti	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Fe	0,22	0,26	0,22	0,27	0,26	0,21	0,23	0,23
Mn	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
Suma Y	4,06	4,08	4,06	4,07	4,11	4,04	4,04	4,06
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Na	0,18	0,12	0,17	0,15	0,07	0,14	0,18	0,20
K	1,75	1,75	1,76	1,74	1,70	1,81	1,78	1,69
Rb	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Cs	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
Suma X	1,96	1,91	1,96	1,93	1,80	1,99	2,00	1,92

Tabla. 3 Composiciones representativas en elementos mayores y trazas de la mica blanca (moscovita) presente en diferentes pegmatitas del campo pegmatítico de Panceiros. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 22 oxígenos. - por debajo del límite de detección

Los principales elementos traza presente en estas moscovitas son rubidio, cesio, rubidio, fósforo, zinc y bario. El rubidio tiene concentraciones similares en todos los cristales analizados que varían entre 2100 y 3300 ppm. El cesio, no presente en algunos de los cristales analizados, alcanza valores entre 1800 y 2200 ppm. Tanto el P como el Zn son trazas comunes a todas las moscovitas analizadas, con rangos de concentración variables. En el caso del fósforo entre 215 y 430 ppm, y en el del zinc entre 270 y 340 ppm. El bario puede

aparecer como traza pero sólo ocasionalmente, y en contenidos inferiores a 120 ppm, muy próximos al límite de detección (tabla 4).

Trazas (ppm)	PAN 1 (1)	PAN 1 (2)	PAN 1 (3)	PAN 1 (4)	PAN 4 (1)	PAN 4 (2)	PAN 4 (3)	PAN 4 (4)
Rb	2317	2262	2312	3308	2133	2314	2579	2321
Cs	1867	2204	1660	1884	-	2045	1997	-
Ba	109	-	-	-	-	113	-	-
P	230	219	216	212	433	233	229	316
Zn	277	289	281	339	369	271	322	303
K/Rb	37,4	37,9	37,4	25,8	39,3	38,7	34,2	35,5

Tabla 4. Concentraciones en elementos traza de la mica blanca (moscovita) presente en diferentes pegmatitas del campo pegmatítico de Panceiros.

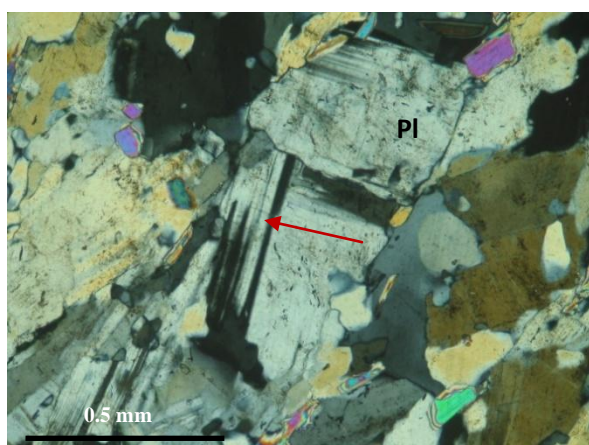


Figura 16. Microfotografía de plagioclasa en la que se observan maclas de deformación.

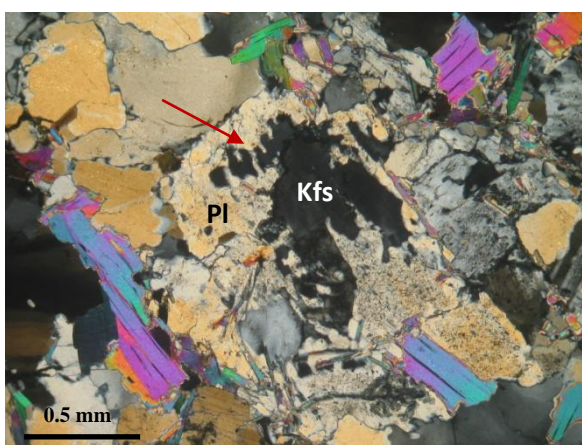


Figura 17. Microfotografía de plagioclasa con parches relictos de feldespato potásico e inclusiones de mica de grano fino. Albitización del feldespato potásico.

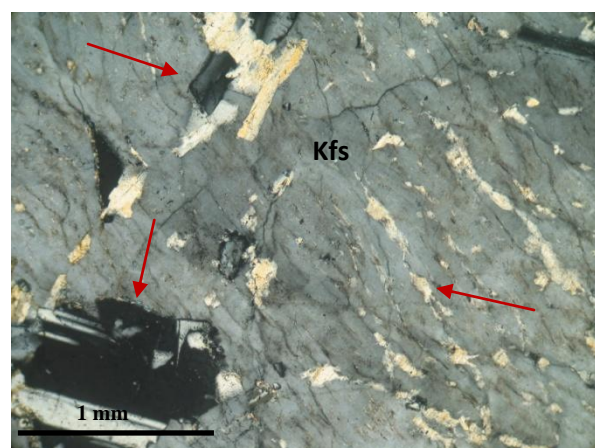


Figura 18. Microfotografía de feldespato potásico con pertitas tipo vena e inclusiones de pequeños cristales de plagioclasa.

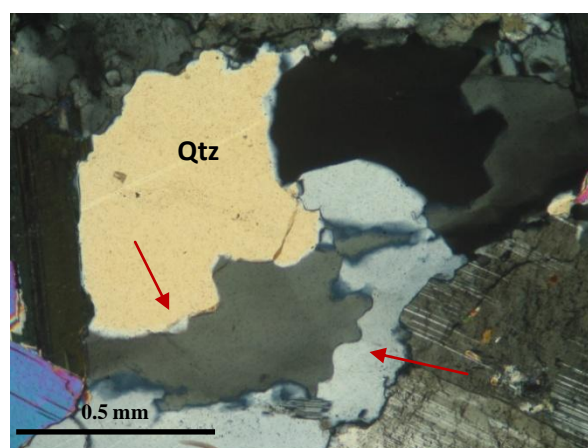


Figura 19. Microfotografía de cuarzo donde se observan bordes lobulados y subgranos.



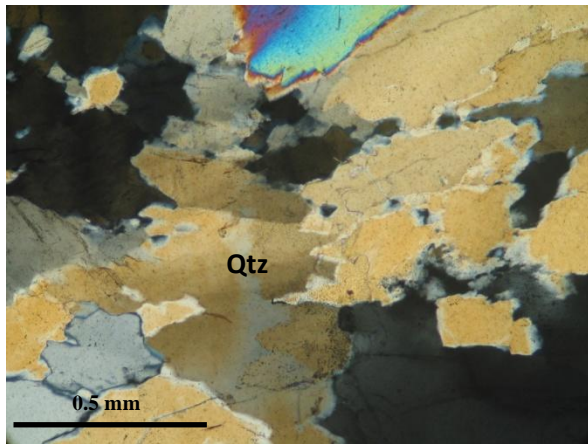


Figura 20. Microfotografía de cuarzos elongados.

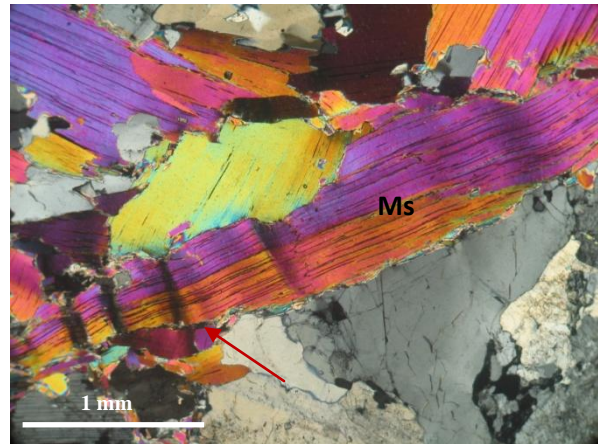


Figura 21. Microfotografía de moscovita con extinción ondulante y kink-bands.

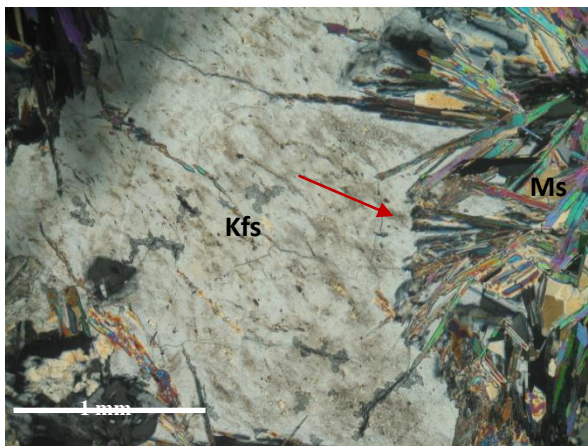


Figura 22. Microfotografía de feldespato potásico intercrecido con agregados “en libro” de moscovita.

La **biotita** no se presenta en todas las láminas estudiadas y cuando lo hace está en una proporción muy baja.

El **granate**, fracturado, se encuentra en forma de cristales idiomórficos y subidiomórficos a menudo intercrecidos con cuarzo en los bordes y en el interior de los cristales (figura 24). A partir de los análisis de microsonda electrónica se ha establecido su composición (tabla 5 y 6). Como se observa en las tablas, son granates aluminicos pertenecientes a la serie almandino – espesartina, con composiciones intermedias más próximas al término almandino. Cabe mencionar que no se ha observado ningún tipo de zonado composicional en los cristales. Estos granates presentan contenidos relativamente altos en fósforo, con valores medios entre el 0,2 y 0,3% en peso de  $P_2O_5$  (tabla 5 y 6). Aunque la presencia de fósforo como traza en granate no es común, ha sido documentado algún caso en granates procedentes de pegmatitas y leucogranitos (Breiter et al., 2005). Taylor y Wise (1995). Taylor et al., (1997) y Anderson et al. (1998) describen las substituciones  $AlPSi_2$  y/o

MnP(AlSi)<sub>1</sub> en granates procedentes de pegmatitas graníticas. La substitución de fósforo parece estar controlada por altos contenidos de fósforo en el fundido y/o fluidos post-magmáticos (Breiter et al., 2005).

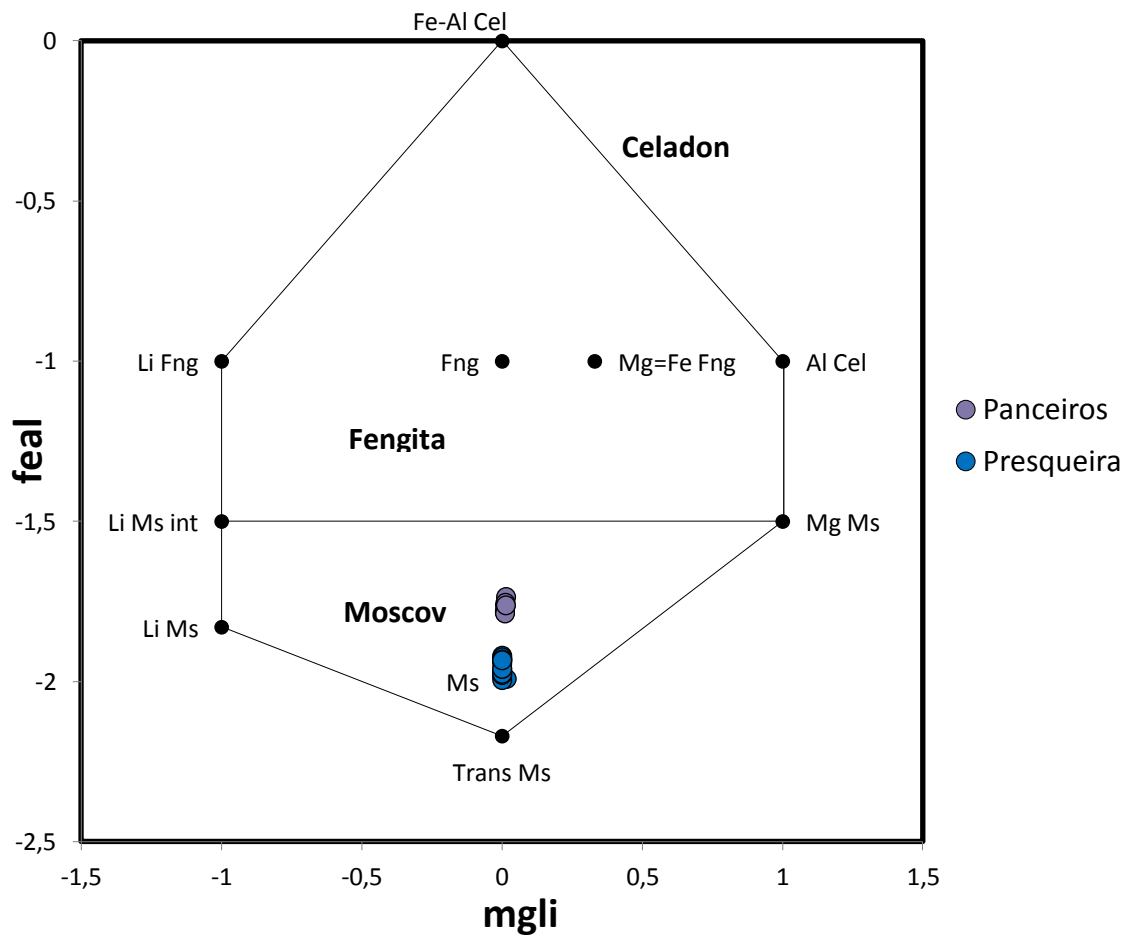


Figura 23. Clasificación de Tischendorf et al. (2004). Se proyectan los datos de la mica blanca de Panceiros y Presqueira.

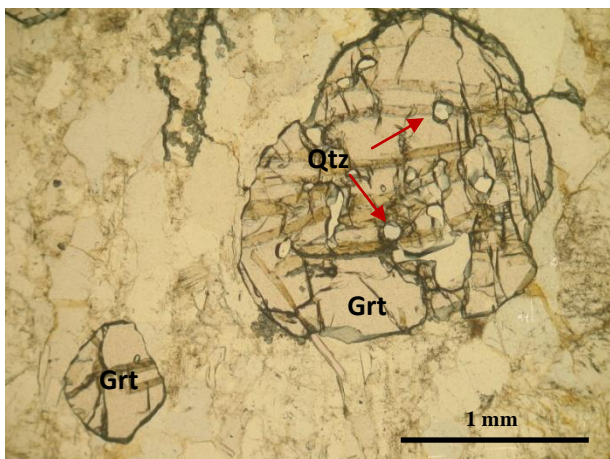


Figura 24. Microfotografías de granates muy fracturados en cristales idiomórficos y con intercrecimientos de cuarzo en el interior y en los bordes.

% en peso	PAN 3 (1)	PAN 3 (2)	PAN (3)	PAN 3 (4)	PAN 3 (5)	PAN 3 (6)	PAN 3 (7)	PAN 3 (8)	PAN 3 (8)	PAN 3 (10)	PAN 3 (11)
SiO <sub>2</sub>	36,00	35,93	36,04	36,15	35,74	35,99	35,65	35,87	35,65	35,64	35,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,94	20,03	19,87	19,88	19,91	19,92	19,78	19,98	19,80	19,73	19,85
MgO	0,14	0,13	0,15	0,16	0,10	0,09	0,11	0,12	0,11	0,13	0,12
FeO	30,03	30,50	30,44	30,09	29,24	28,56	29,10	29,83	29,94	30,40	29,39
MnO	13,99	13,62	13,76	13,77	14,76	15,12	14,84	14,41	13,75	13,26	14,46
CaO	0,09	0,11	0,09	0,08	0,08	0,09	0,14	0,10	0,07	0,09	0,08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,30	0,34	0,29	0,36	0,16	0,26	0,27	0,31	0,23	0,31
Total	100,42	100,69	100,76	100,47	100,33	99,98	99,95	100,61	99,67	99,56	99,73
Fórmula estructural en base a 12 oxígenos											
Si	2,973	2,961	2,967	2,980	2,957	2,984	2,961	2,959	2,966	2,970	2,952
Al IV	0,027	0,039	0,033	0,020	0,043	0,016	0,039	0,041	0,034	0,030	0,048
P	0,014	0,021	0,023	0,020	0,025	0,011	0,018	0,019	0,022	0,016	0,022
Al VI	1,919	1,911	1,901	1,916	1,904	1,934	1,903	1,907	1,912	1,914	1,904
Fe <sup>3+</sup>	0,059	0,061	0,067	0,056	0,062	0,048	0,070	0,066	0,058	0,062	0,065
Fe <sup>2+</sup>	2,014	2,041	2,028	2,019	1,961	1,932	1,952	1,992	2,024	2,057	1,980
Mn	0,978	0,951	0,959	0,962	1,034	1,062	1,044	1,007	0,969	0,936	1,020
Mg	0,017	0,016	0,018	0,020	0,013	0,011	0,014	0,015	0,014	0,016	0,015
Ca	0,008	0,009	0,008	0,007	0,007	0,008	0,013	0,009	0,006	0,008	0,007
Total	8,010	8,010	8,006	8,000	8,007	8,006	8,014	8,014	8,006	8,010	8,014
Almandino	65,64	66,63	66,00	65,97	63,90	63,09	63,29	64,75	66,10	67,06	64,41
Espesartina	33,51	32,48	33,08	33,12	35,42	36,27	35,78	34,44	33,21	32,11	34,83
Andradita	0,27	0,32	0,29	0,24	0,25	0,27	0,44	0,30	0,20	0,26	0,24
Piropo	0,58	0,56	0,63	0,68	0,44	0,36	0,48	0,51	0,49	0,56	0,53

Tabla 5. Composiciones representativas del granate de diferentes pegmatitas del campo de Panceiros. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 12 oxígenos.

% en peso	PAN 3 (12)	PAN 3 (13)	PAN 3 (14)	PAN 4 (1)	PAN 4 (2)	PAN 4 (3)	PAN 4 (4)	PAN 4 (5)	PAN 4 (6)	PAN 4 (7)
SiO <sub>2</sub>	35,66	35,53	35,49	35,62	35,80	35,96	36,12	35,80	35,78	35,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,82	19,68	19,73	19,77	19,72	19,80	19,92	19,98	19,93	19,78
MgO	0,00	0,04	0,05	0,19	0,19	0,22	0,13	0,16	0,09	0,07
FeO	25,90	25,23	25,53	30,17	30,04	30,31	28,99	29,16	28,04	27,63
MnO	18,21	18,66	18,28	13,78	13,89	13,87	14,58	14,48	16,28	16,30
CaO	0,11	0,13	0,13	0,12	0,09	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28	0,34	0,35	0,21	0,21	0,20	0,10	0,26	0,30	0,29
Total	100,07	99,73	99,60	99,95	100,02	100,51	100,06	100,07	100,62	100,10
Fórmula estructural en base a 12 oxígenos										
Si	2,960	2,958	2,956	2,961	2,971	2,969	2,992	2,966	2,953	2,969
Al IV	0,040	0,042	0,044	0,039	0,029	0,031	0,008	0,034	0,047	0,031
P	0,020	0,024	0,024	0,015	0,015	0,014	0,007	0,018	0,021	0,020
Al VI	1,904	1,896	1,899	1,903	1,906	1,902	1,940	1,921	1,898	1,906
Fe <sup>3+</sup>	0,067	0,071	0,068	0,073	0,071	0,075	0,047	0,054	0,072	0,066
Fe <sup>2+</sup>	1,731	1,686	1,711	2,024	2,014	2,018	1,961	1,967	1,864	1,849
Mn	1,280	1,316	1,290	0,970	0,976	0,970	1,023	1,016	1,138	1,144
Mg	0,000	0,006	0,006	0,023	0,023	0,027	0,016	0,020	0,011	0,009
Ca	0,010	0,012	0,012	0,011	0,008	0,010	0,011	0,012	0,012	0,013
Total	8,013	8,010	8,010	8,019	8,013	8,016	8,006	8,009	8,015	8,007
Almandino	55,79	54,16	55,16	65,58	65,28	65,27	64,14	64,32	60,26	59,92
Espesartina	43,88	45,24	44,20	33,26	33,65	33,44	34,94	34,59	38,97	39,31
Andradita	0,34	0,40	0,41	0,37	0,27	0,36	0,38	0,40	0,40	0,46
Piropo	0,00	0,19	0,22	0,79	0,80	0,92	0,55	0,69	0,37	0,31

Tabla 6. Composiciones representativas del granate de diferentes pegmatitas del campo de Panceiros. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 12 oxígenos.

### Fosfatos

La identificación de los fosfatos se realizó, en gran medida, gracias al microscopio electrónico de barrido con espectrómetro de energía dispersiva acoplado (SEM-EDS), que además permitió observar mejor las relaciones texturales que presentan estos minerales mediante imágenes de electrones retrodispersados. Por otro lado, también se utilizó la microsonda electrónica con el fin de establecer de forma precisa su composición y calcular su fórmula estructural.

De los fosfatos identificados en las pegmatitas de Panceiros, los más abundantes pertenecen al grupo del **apatito** cuya fórmula general es  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ . A partir de los análisis de microsonda electrónica se han distinguido dos variedades composicionales de



apatito que presentan diferentes morfologías y relaciones texturales. Estas dos variedades son, de acuerdo a la clasificación de Pasero et al. (2010), fluorapatito y manganoapatito (tabla 7). No obstante el manganoapatito se presenta parcialmente argillitizado lo que hizo imposible conseguir análisis cuantitativos de buena calidad y dificultó su clasificación. Los cristales de fluorapatito son incoloros y euhedrales o subeuhedrales. Se presentan con bordes lobulados e irregulares que interpenetran a otros minerales como feldespatos y cuarzo, indicando un posible reemplazamiento de los mismos (figura 25). No obstante, también forman cristales aislados con contactos más regulares (figura 26). Por su parte, el manganoapatito al estar parcialmente argillitizado tiene un aspecto turbio y una tonalidad parda al microscopio óptico. Se presenta con formas anhedrales, en masas y parches de colores pardos que reemplazan parcialmente a otros minerales, principalmente al fluorapatito (figura 27, 28), pero también al resto de fosfatos como se describirá a continuación. Estos parches de reemplazamiento también afectan a los feldespatos e incluso al granate (figura 29).

Además de apatito, en las pegmatitas de Panceiros se ha identificado la presencia fosfatos alumínicos pertenecientes a la serie isomorfa **Eosphorita-Childrenita**, cuya fórmula general es  $(\text{Mn,Fe})\text{Al PO}_4(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (tabla 8). Los extremos finales de esta serie son la childrenita, término rico en hierro, y la eosphorita, término rico en manganeso. Los análisis de microsonda electrónica en estos minerales mostraron variedad composicional, en general, son términos más próximos a eosphorita e intermedios (tabla 8). Estos fosfatos, de formas anhedrales, se presentan como parches en el interior de cristales de plagioclasa y feldespato potásico con bordes irregulares interpenetrando a éstos. Esto sugiere el reemplazamiento de estos silicatos por el fosfato alumínico (figuras 27, 30). Se pudo comprobar, mediante los análisis de microsonda electrónica, que los parches de este fosfato no tienen una composición homogénea, las zonas más incoloras tienen valores de la relación  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mn})$  más bajos que las zonas de colores pardos (tabla 8).

% en peso	PAN 1 MnAp	PAN 4 F-Ap	PAN 4 (F-Ap)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	32,96	42,92	42,74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,77	0,00	0,00
CaO	34,53	47,73	47,92
MnO	3,73	5,50	5,15
FeO	1,17	1,14	1,25
SrO	0,17	0,00	0,00
BaO	0,00	0,02	0,02
Rb <sub>2</sub> O	0,05	0,00	0,00
F	0,74	3,48	3,61
Cl	0,85	0,00	0,00
Total	75,97*	100,79	100,68
O $\equiv$ F, Cl	0,50	1,47	1,52
Total	75,46	99,32	99,16
P	5,000	5,000	5,000
Al	0,373	0,000	0,000
Ca	6,629	7,036	7,096
Mn	0,566	0,641	0,602
Fe	0,176	0,131	0,145
Sr	0,018	0,000	0,000
Ba	0,000	0,001	0,001
Rb	0,006	0,000	0,000
F	0,417	1,516	1,577
Cl	0,258	0,000	0,000

Tabla 7. Composiciones representativas del apatito presente en diferentes pegmatitas del campo pegmatítico de Panceiros. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 5 PO<sub>4</sub>. El análisis de manganoapatito Pan 1 debe tomarse con precaución ya que este mineral siempre aparece parcialmente argillitizado. Manganoapatito: MnAp; F-Ap: Fluorapatito.

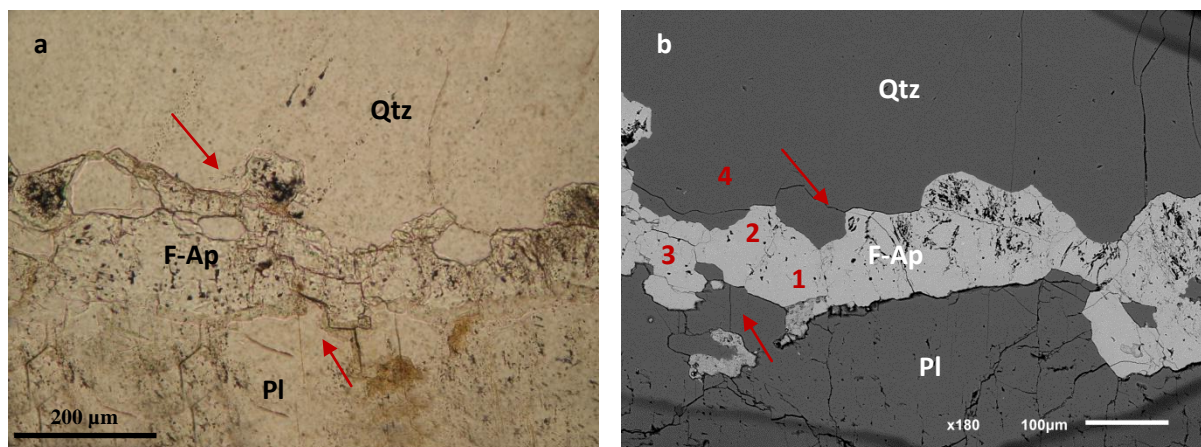


Figura 25. a) Microfotografía (microscopía óptica) de fluorapatito en el contacto entre cuarzo y plagioclase. b) Imagen de electrones retrodispersados (SEM) de la misma área, donde se aprecian mejor los contactos lobulados e irregulares del fluorapatito (F-Ap) con el cuarzo y la plagioclase. Se adjunta tabla con los análisis químicos realizados con SEM-EDS en los puntos señalados en la imagen.

% peso	1 F-Ap	2 F-Ap	3 F-Ap	4 Qtz
O	41,23	40,93	40,86	56,73
F	6,83	6,53	5,06	
Si				43,27
P	18,15	18,37	18,65	
Ca	32,69	32,96	33,61	
Mn	1,1	1,21	1,82	
Total	100	100	100	100

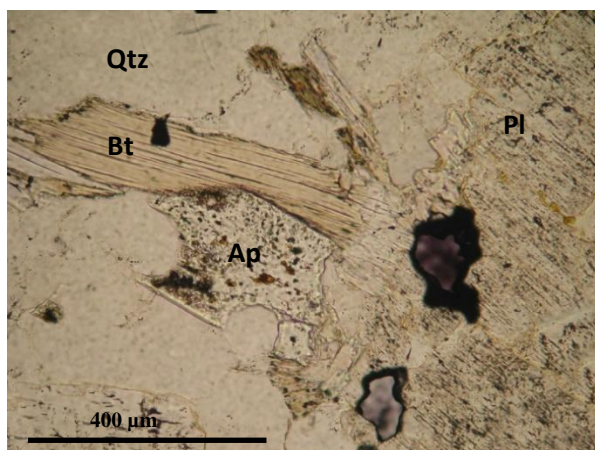


Figura 26. Microfotografía de fluorapatito con bordes más regulares.

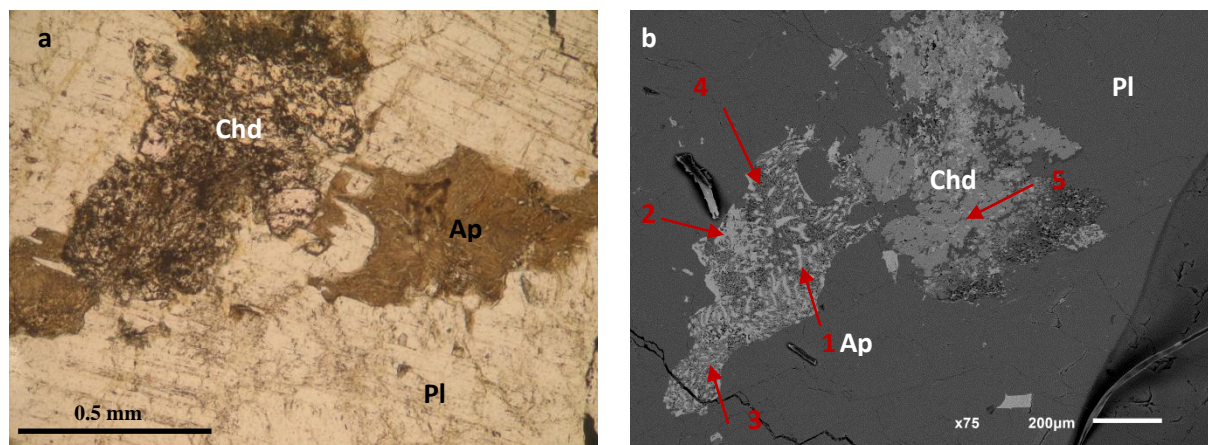
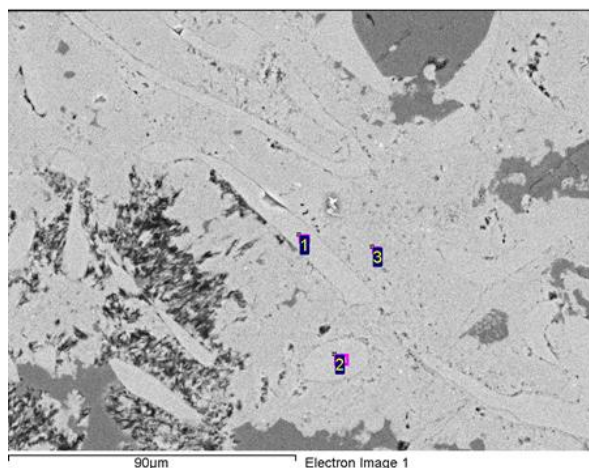


Figura 27. a) Microfotografía de eosporita en forma de parche reemplazando plagioclase y fluorapatito que está siendo reemplazado por manganoapatito. b) Imagen de electrones retrodispersados donde se puede observar como la eosporita reemplaza a la plagioclase y a su vez el fluorapatito (más blanco) está siendo reemplazado por manganoapatito, se adjunta tabla con los análisis realizados.

% peso	1	2	3	4	5
O	44,53	44	50,04	50,31	58,22
F	7,94	8,02			
Al					10,38
P	16,68	16,97	17,68	17,64	12,64
Ca	26,29	26,36	30,69	30,69	
Mn	4,55	4,65	1,59	1,36	17,7
Fe					1,06
Total	100	100	100	100	100



% en peso	1 F-Ap	2 F-Ap	3 MnAp
O	44,53	44	50,04
F	7,94	8,02	
P	16,68	16,97	17,68
Ca	26,29	26,36	30,69
Mn	4,55	4,65	1,59
Total	100	100	100

Figura 28. Imagen SEM de electrones retrodispersados de la masa de apatito de la figura 27b ampliada, se observan los relictos de fluorapatito (puntos 1 y 2) englobados por managanoapatito (punto 3) que está siendo parcialmente argillitizado (esquina inferior izquierda). Se adjunta tabla con los análisis químicos realizados con SEM-EDS en los puntos señalados en la imagen. Manganoapatito: MnAp; F-Ap: Fluorapatito



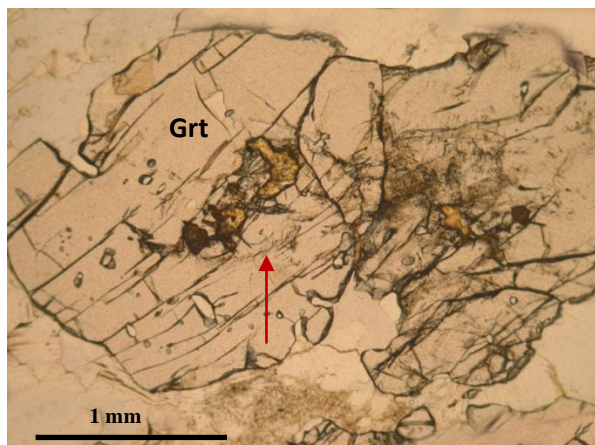


Figura 29. Microfotografía de granates con parches de manganoapatito que ocupan huecos y fracturas en el núcleo de estos silicatos.

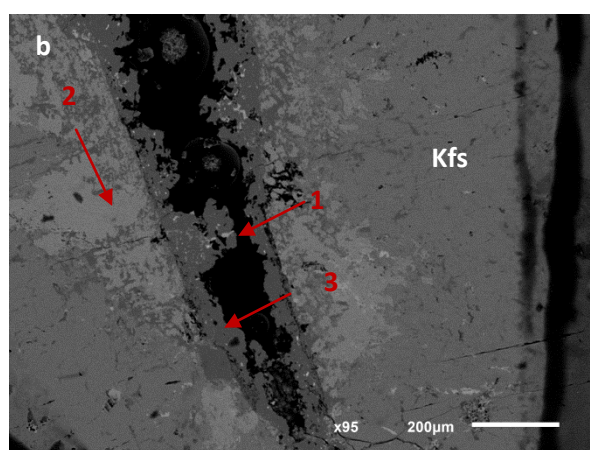
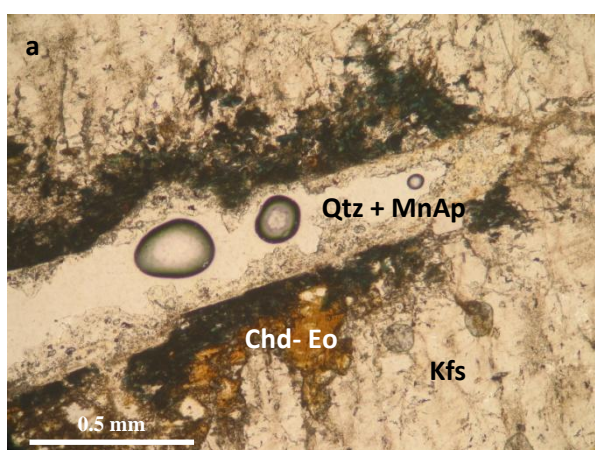


Figura 30. a) Microfotografía (microscopía óptica) de microvenilla de cuarzo y manganoapatito que corta un cristal de feldespato potásico reemplazado parcialmente por childrenita-eosporita (Chd-Eo). A su vez, el manganoapatito (MnAp) reemplaza, en el entorno de la microvenilla, al fosfato aluminico. b) Imagen SEM de electrones retrodispersados de la misma zona y tabla con los análisis químicos realizados con SEM-EDS en los puntos señalados en la imagen.

% peso	1 Mn-Ap	2 Chd-Eo	3 Qtz
O	50,26	57,4	58,49
Al		10,39	
Si			41,51
P	17,49	13,46	
Ca	30,05		
Mn	2,2	6,96	
Fe		11,78	
Total	100	100	100

% en peso	PAN 1 (1)	PAN 1 (2)	PAN 1 (3)	PAN 1 (4)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	33,58	33,77	33,86	33,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,70	22,81	22,37	22,71
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,36	0,48	0,49	0,40
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	14,37	13,93	28,11	27,27
FeO	15,46	15,22	1,69	3,11
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,06	0,00	0,00
F	0,53	0,49	0,59	0,53
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	87,01	86,75	87,10	87,37
O $\equiv$ F	0,22	0,21	0,25	0,22
Total	86,79	86,55	86,85	87,15
P	1,000	1,000	1,000	1,000
Al	0,941	0,940	0,920	0,948
Ca	0,014	0,018	0,018	0,015
Mn	0,428	0,413	0,831	0,818
Fe	0,455	0,445	0,049	0,092
K	0,000	0,003	0,000	0,000
F	0,059	0,054	0,065	0,059
Fe/(Fe+Mn)	0,515	0,519	0,056	0,101

Tabla 8. Composiciones representativas de los miembros de la serie childrenita-esophorita presentes en diferentes pegmatitas del campo pegmatítico de Panceiros. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 1 PO<sub>4</sub>.

Las relaciones texturales descritas entre los fosfatos y los silicatos apoyan que se han formado en una etapa posterior a la de cristalización mágmica de los principales silicatos, la única excepción podría ser el fluorapatito, que en algunos casos se presenta en equilibrio con los silicatos. En general, estos fosfatos representan una etapa tardi-mágmica de reemplazamiento de las fases silicatadas primarias. El reemplazamiento selectivo de feldespatos y granate se explicaría por los contenidos elevados en trazas de fósforo en estos silicatos.

Por otro lado, en los parches de reemplazamiento de los feldespatos, la eosphorita-childrenita está asociada a masas irregulares de manganoapatito con relictos de fluorapatito (figura 27, 28). Además se ha observado una microvenilla rellena de cuarzo y manganoapatito cortando a feldespato potásico (figura 30), a ambos lados de dicha vena el silicato está parcialmente reemplazado por eosphorita. Pero además, en el entorno de la microvenilla este fosfato aluminico está, a su vez, parcialmente reemplazado por manganoapatito. Por tanto, durante la formación de estos fosfatos metasomáticos, las relaciones texturales entre ellos apoyan una secuencia paragenética con una primera etapa representada por la asociación de fluorapatito y eosphorita-childrenita a la que le seguiría una etapa más tardía caracterizada por manganoapatito.



## LA PEGMATITA DE PRESQUEIRA

### Caracterización de campo

La pegmatita de Presqueira se localiza en el extremo norte del campo pegmatítico de Forcarey Sur definido por Fuertes-Fuente (1996) y se emplaza en los metasedimentos del Grupo Paraño (Para-autóctono), muy próxima al contacto de estos con la Unidad Basal del alóctono (Grupo Lalín-Forcarey) (figura 6). Esta pegmatita es un cuerpo no aflorante constituido por un dique principal que se ramifica en dos (figura 31) y, en conjunto, se extiende a lo largo de 700 metros con un espesor muy variable, alcanzando un valor máximo de 15,6 metros, de acuerdo a los datos proporcionados por Solid Resources (Iberian Minerals Ltd.) en su memoria técnica NI 43-101 Alberta-1. Las dos ramificaciones del dique principal constituyen, a su vez, diques continuos con un espesor variable con un valor medio entre 2,8 y 8,6 metros. La dirección de este cuerpo es N160E, coincidente con la de la foliación principal de los esquistos, y su buzamiento cambia de subhorizontal en su extremo septentrional a 40° hacia el oeste en su parte meridional. En las galerías de exploración (figura 32) se puede observar como el contacto de la pegmatita con la roca encajante es neto y los metasedimentos del Grupo Paraño están intensamente turmalinizados.

La estructura interna de esta pegmatita es bandeada, con alternancia de bandas de grano grueso, pegmatíticas, y bandas grano más fino, aplíticas (figura 32 y 33). Estas últimas, aunque localizadas en todo el cuerpo pegmatítico, siempre están presentes en la zona de borde en contacto con el encajante. En general, este bandeo es continuo y su disposición paralela a los contactos del cuerpo con el encajante.

Una característica de esta pegmatita es el desarrollo de una textura milonítica, más reconocible en las bandas de grano más grueso (figura 33). Esta deformación está probablemente en relación a la banda de cizalla subvertical que afectó a los metasedimentos y rocas ígneas de esta zona durante la tercera fase de deformación Varisca (Barrera et al. 1989, Fuertes-Fuente y Martín-Izard, 1998).



Figura 31. Pequeño cuerpo pegmatítico donde se observa como un dique se ramifica en otros dos y que, a menor escala, ilustra la morfología de la pegmatita de Presqueira. Corte de carretera en el extremo septentrional del campo pegmatítico de Forcarey Sur.



Figura 32. Contacto entre la pegmatita y el encajante turmalinizado. Se observa la banda aplítica de la zona de borde del cuerpo



Figura 33. Banda de grano grueso "pegmatítica". Nótese el desarrollo de una textura milonítica con foliación y presencia de porfiroclastos centimétricos de feldespato (Galería de exploración en el extremo sur de la pegmatita).

### Caracterización mineralógica y petrológica

El estudio de láminas delgadas procedentes de las muestras de la pegmatita de Presqueira permitió establecer diferencias mineralógicas, principalmente en el porcentaje de los minerales presentes, entre las bandas de grano más grueso o pegmatíticas y las de grano más fino o aplíticas, corroborando las observaciones de campo.

En las bandas de grano más fino o aplíticas, los minerales esenciales presentes por orden de abundancia son: plagioclasa, cuarzo, espodumena y mica blanca. Como minerales accesorios: petalita, fosfatos y óxidos de Sn-Nb-Ta.

Las bandas de grano más grueso o pegmatíticas están constituidas mayoritariamente, en orden de abundancia, por plagioclasa, feldespato potásico, espodumena, cuarzo y mica blanca. En menor proporción se encuentran petalita, fosfatos y óxidos de Sn-Nb-Ta, además de algún cristal de arsenopirita

## Mineralogía

### Silicatos

La **plagioclasa** presenta maclas de deformación (figura 34) indicativas de deformación plástica intracrystalina. Frecuentemente, los cristales de plagioclasa tienen una zona central turbia debido a la concentración de impurezas que definen el contorno de un cristal previo. La plagioclasa externa a esta zona central está libre de impurezas y en continuidad óptica con la interna. También son habituales texturas como la anterior pero en las que la zona central turbia, a veces ligeramente sericitizada, está rodeada de una corona mirmequítica (figura 35), o bien, las mirmequitas se distribuyen a lo largo de la plagioclasa de forma más o menos homogénea. Paraskovopoulos (1953) señaló que estas texturas son el resultado de un proceso de albitización de feldespato potásico, lo que llevaría consigo una liberación, por un lado, de sílice, que originaría la mirmequita, y por otro lado, de potasio, que provocaría la seritización de la plagioclasa neoformada. En algún caso, en el interior de los cristales de plagioclasa de la pegmatita de Presqueira se han observado restos relictos de feldespato potásico. Por tanto, todas estas texturas apoyarían un proceso de albitización de un feldespato potásico previo y, además, que este proceso fue tan intenso que la mayor parte de los feldespatos potásicos están completamente albitizados. Los análisis de microsonda electrónica (tabla 9 y 10) indican que se trata de albita muy pura con una composición de  $Ab_{99,6}$  a  $Ab_{100}$ . Como elementos traza, están presentes principalmente el fósforo y el rubidio. El fósforo varía de unas plagioclasas a otras con valores desde 195 a 3074 ppm. Sin embargo, las concentraciones en rubidio son muy similares en todas las plagioclasas analizadas, en torno a 2200 ppm. En mucha menor proporción, y no en todas las plagioclasas analizadas, hay concentraciones de bario (entre 140 y 240 ppm) y, de forma anecdótica, de Cs y Zn (tabla 9 y 10).

El **feldespato potásico** tiene características similares al de las pegmatitas de Panceiros, son grandes cristales con pertitas tipo vena y mancha, e inclusiones de pequeños cristales maclados y euhedrales de plagioclasa. El origen de estos últimos probablemente sea similar a lo que se describió en el caso de Panceiros, es decir, nucleación de estas plagioclasas a partir de las pertitas, por difusión de iones en condiciones subsólidas. Los análisis de microsonda electrónica (tabla 11) de este feldespato potásico indican que sus principales trazas son cesio, rubidio y, en menor proporción, fósforo. Las concentraciones medidas de rubidio, en general, están entre 4700 - 5800 ppm. Los contenidos en cesio están entre 3200 y

6000 ppm, pudiendo alcanzar hasta 6424 ppm. Las concentraciones en fósforo son muy similares entre 1800 y 3000 ppm. Por último, también se encuentran, puntualmente, concentraciones muy inferiores de Ba y Zn, dentro del intervalo de las 100-200 ppm.



Figura 34. Microfotografía de plagioclase con maclas de deformación.

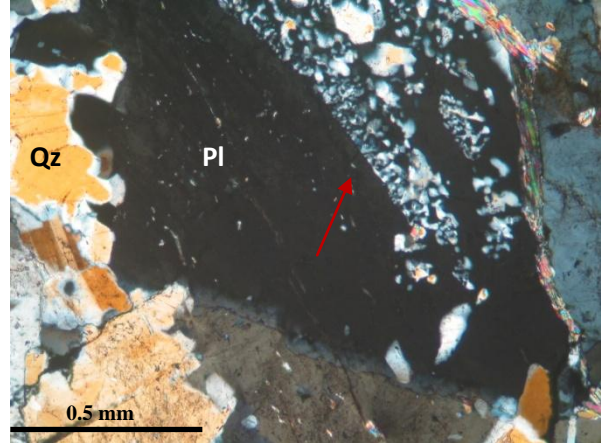


Figura 35. Microfotografía de plagioclase con corona mirmequítica.



% en peso	PR-2 (1)	PR-2 (2)	PR-2 (3)	PR-2 (4)	PR-6 (1)	PR-6 (2)	PR-6 (3)
Na <sub>2</sub> O	12,27	12,09	12,10	12,16	12,04	12,09	12,31
SiO <sub>2</sub>	68,22	68,36	68,51	68,30	67,88	67,20	67,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,42	19,60	19,69	19,56	19,93	20,38	19,88
K <sub>2</sub> O	0,13	0,09	0,08	0,08	0,07	0,10	0,09
CaO	-	-	-	-	0,04	0,05	0,08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,08	-	-	0,43	0,70	0,56
ZnO	-	-	-	-	-	0,01	-
Rb <sub>2</sub> O	0,24	0,25	0,26	0,25	0,25	0,23	0,23
Cs <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	0,02	-	-	-	-	-
Total	100,36	100,49	100,63	100,33	100,65	100,78	100,74
Fórmula estructural en base a 32 oxígenos							
Si	11,93	11,93	11,94	11,94	11,83	11,70	11,78
Al	4,00	4,03	4,04	4,03	4,09	4,18	4,08
P	0,01	0,01	0,00	0,00	0,06	0,10	0,08
Suma Z	15,94	15,97	15,98	15,97	15,98	15,98	15,94
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Na	4,16	4,09	4,09	4,12	4,07	4,08	4,16
K	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Suma X	4,19	4,11	4,11	4,14	4,09	4,11	4,20
Ab	100,00	100,00	100,00	100,00	99,82	99,76	99,64
An	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,24	0,36
Trazas (ppm)	PR-2 (1)	PR-2 (2)	PR-2 (3)	PR-2 (4)	PR-6 (1)	PR-6 (2)	PR-6 (3)
P	362	357	-	-	1885	3074	2458
Zn	-	-	-	-	-	98	-
Rb	2211	2245	2347	2254	2244	2103	2101
Ba	-	145	-	-	-	-	-

Tabla 9. Composiciones representativas en elementos mayores y trazas de las plagioclasas presentes en la pegmatita de Presqueira. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 32 oxígenos. - por debajo del límite de detección



% en peso	PR-6 (4)	PR-6 (5)	PR-6 (6)	PR-4 (1)	PR-4 (2)	PR-4 (3)	PR-4 (4)
Na <sub>2</sub> O	12,28	12,12	11,99	12,23	12,05	12,06	12,14
SiO <sub>2</sub>	67,20	68,49	68,32	67,16	67,73	68,54	68,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,10	19,61	19,55	19,84	19,95	19,18	19,13
K <sub>2</sub> O	0,07	0,07	0,12	0,12	0,15	0,12	0,16
CaO	0,09	-	-	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,65	0,04	0,11	0,60	0,58	0,15	0,08
ZnO	-	-	-	-	-	-	-
Rb <sub>2</sub> O	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24
Cs <sub>2</sub> O	-	-	-	-	0,14	-	-
BaO	0,01	-	-	0,02	0,02	0,03	0,02
Total	100,65	100,59	100,34	100,23	100,88	100,33	100,61
Fórmula estructural en base a 32 oxígenos							
Si	11,73	11,94	11,94	11,77	11,79	11,98	12,00
Al	4,13	4,03	4,03	4,10	4,10	3,95	3,93
P	0,10	0,01	0,02	0,09	0,09	0,02	0,01
Suma Z	15,96	15,98	15,98	15,96	15,97	15,95	15,94
Ca	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	4,16	4,10	4,06	4,16	4,07	4,09	4,10
K	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Cs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Suma X	4,20	4,11	4,09	4,18	4,10	4,11	4,14
Ab	99,59	100,00	99,98	100,00	99,98	100,00	99,95
An	0,41	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,05
Trazas (ppm)	PR-6 (4)	PR-6 (5)	PR-6 (6)	PR-4 (1)	PR-4 (2)	PR-4 (3)	PR-4 (4)
P	2816	195	463	2618	2539	673	362
Rb	2243	2274	2266	2277	2329	2284	2197
Cs	-	-	-	-	1337	-	-
Ba	-	-	-	222	216	247	169

Tabla 10. Composiciones representativas en elementos mayores y trazas de las plagioclasas presentes en la pegmatita de Presqueira. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 32 oxígenos. - por debajo del límite de detección.

% en peso	PR-2 (1)	PR-2 (2)	PR-6 (1)	PR-6 (2)	PR-6 (3)	PR-6 (4)	PR-4 (1)	PR-4 (2)	PR-4 (3)	PR-4 (4)
Na <sub>2</sub> O	1,04	0,90	0,34	0,41	0,57	0,43	0,79	0,59	0,91	0,99
SiO <sub>2</sub>	63,79	63,47	64,24	64,38	64,59	62,96	63,40	63,17	63,73	63,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,74	18,55	19,08	18,65	18,75	18,86	18,24	18,30	18,33	18,29
K <sub>2</sub> O	14,85	14,85	15,41	15,41	15,12	15,58	15,13	15,49	14,64	14,95
CaO	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,49	0,42	0,62	0,63	0,61	0,66	0,66	0,65	0,69	0,54
ZnO	-	0,02	-	0,02	0,01	0,01	-	-	0,02	0,01
Rb <sub>2</sub> O	0,64	0,64	0,61	0,62	0,56	0,58	0,55	0,52	0,65	0,63
Cs <sub>2</sub> O	0,63	0,62	0,64	0,68	0,38	0,42	0,39	0,35	0,60	0,64
BaO	-	-	0,01	-	0,02	0,02	-	-	0,01	-
Total	100,17	99,47	100,96	100,79	100,61	99,58	99,17	99,06	99,58	99,72
Fórmula estructural en base a 8 oxígenos										
Si	2,96	2,96	2,95	2,97	2,97	2,94	2,96	2,96	2,97	2,97
Al	1,02	1,02	1,03	1,01	1,02	1,04	1,00	1,01	1,01	1,00
P	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Suma Z	4,00	4,00	4,01	4,00	4,01	4,00	3,99	4,00	4,00	3,99
Na	0,09	0,08	0,03	0,04	0,05	0,04	0,07	0,05	0,08	0,09
K	0,88	0,88	0,90	0,91	0,89	0,93	0,90	0,93	0,87	0,89
Rb	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cs	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Suma X	1,00	0,99	0,96	0,98	0,97	1,00	1,00	1,01	0,98	1,01
Trazas (ppm)	PR-2 (1)	PR-2 (2)	PR-6 (1)	PR-6 (2)	PR-6 (3)	PR-6 (4)	PR-4 (1)	PR-4 (2)	PR-4 (3)	PR-4 (4)
P	2128	1842	2688	2759	2681	2873	2880	2831	3019	2357
Zn	-	134	-	141	114	99	-	-	128	112
Rb	5882	5861	5600	5645	5144	5300	5015	4726	5985	5738
Cs	5916	5824	6037	6424	3547	3975	3722	3291	5652	5999
Ba	-	-	132	-	162	179	-	-	124	-
K/Rb	20,95	21,03	22,85	22,66	24,40	24,41	25,05	27,21	20,31	21,63
K/Cs	20,83	21,16	21,20	19,91	35,38	32,54	33,75	39,07	21,51	20,69

Tabla 11. Composiciones representativas en elementos mayores y trazas del feldespato potásico de la pegmatita de Presqueira. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 8 oxígenos. - por debajo del límite de detección.

La **mica blanca**, presenta extinción ondulante y se dispone con una orientación preferente que define una incipiente foliación milonítica observada a escala de afloramiento (figura 36). Mediante la microsonda electrónica se han realizado análisis con el fin de obtener su composición y contenidos en elementos traza (tablas 12 y 13). De acuerdo a la clasificación de Tischendorf et al. (2004), tiene una composición muy próxima a la

composición ideal del término moscovita (figura 23) y contenidos en flúor entre 0,13 y 0,33 % en peso.

% peso	PR-2 (1)	PR-2 (2)	PR-2 (3)	PR-2 (4)	PR-6 (1)	PR-6 (2)	PR-6 (3)	PR-6 (4)
Na <sub>2</sub> O	0,48	0,22	0,45	0,60	0,57	0,56	0,62	0,60
SiO <sub>2</sub>	45,98	47,27	45,80	45,77	44,90	45,17	45,25	45,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,30	36,63	39,37	38,85	37,60	38,10	38,29	38,77
MgO	-	0,16	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	10,28	4,21	10,56	10,35	9,71	9,78	9,62	10,22
CaO	-	0,16	-	-	0,63	-	-	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	0,05	-	-	-
FeO	0,41	1,18	0,25	0,46	0,60	0,43	0,49	0,57
MnO	-	-	-	-	0,06	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	-	0,43	-	-	-
F	0,25	-	0,17	0,21	-	0,22	-	0,15
ZnO	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Rb <sub>2</sub> O	0,43	0,42	0,42	0,40	0,48	0,39	0,47	0,48
Cs <sub>2</sub> O	0,38	0,34	0,33	0,36	0,48	0,21	0,50	0,40
BaO	-	-	-	-	0,01	0,01	-	-
Total	97,53	90,61	97,38	97,03	95,57	94,92	95,28	97,00
Fórmula estructural en base a 22 oxígenos								
Si	5,98	6,35	5,97	5,99	5,99	6,02	6,01	5,99
Al IV	2,02	1,65	2,03	2,01	2,01	1,98	1,99	2,01
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Suma Z	8,00	8,00	8,00	8,00	8,01	8,00	8,00	8,00
Al VI	4,01	4,15	4,02	3,99	3,91	4,01	4,01	3,98
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe	0,04	0,13	0,03	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma Y	4,06	4,31	4,05	4,04	3,99	4,06	4,06	4,05
Ca	0,00	0,02	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
Na	0,12	0,06	0,11	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15
K	1,71	0,72	1,76	1,73	1,65	1,66	1,63	1,71
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04
Cs	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02
Suma X	1,88	0,86	1,92	1,93	1,96	1,86	1,86	1,92

Tabla 12. Composiciones representativas en elementos mayores y trazas de la mica blanca (moscovita) presente en la pegmatita de Presqueira. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 22 oxígenos. - por debajo del límite de detección.

**CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO PEGMATÍTICO DE PANCEIROS Y LA PEGMATITA DE PRESQUEIRA:**

% peso	PR-4 (1)	PR-4 (2)	PR-4 (3)	PR-4 (4)	PR-4 (5)	PR-4 (6)	PR-4 (7)	PR-4 (8)
Na <sub>2</sub> O	0,62	0,55	0,55	0,55	0,56	0,49	0,57	0,55
SiO <sub>2</sub>	45,19	45,04	45,29	45,43	44,91	45,62	45,37	45,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,48	37,01	36,51	37,46	37,60	38,08	37,13	37,32
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	10,21	10,29	9,99	10,24	10,44	10,40	10,18	10,26
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	0,70	0,66	0,70	0,65	0,59	0,47	0,68	0,68
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0,33	0,20	0,19	0,13	-	0,18	0,22	0,25
ZnO	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04
Rb <sub>2</sub> O	0,53	0,50	0,47	0,50	0,51	0,47	0,46	0,47
Cs <sub>2</sub> O	0,41	0,43	0,51	0,51	0,27	0,34	0,36	0,37
BaO	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	-	0,01	0,02
Total	95,54	94,73	94,26	95,52	94,93	96,08	95,03	95,29
Fórmula estructural en base a 22 oxígenos								
Si	6,04	6,06	6,12	6,06	6,02	6,03	6,08	6,06
Al IV	1,96	1,94	1,88	1,94	1,98	1,97	1,92	1,94
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma Z	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al VI	3,94	3,93	3,93	3,94	3,95	3,97	3,94	3,94
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,05	0,08	0,08
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma Y	4,02	4,01	4,01	4,02	4,02	4,03	4,02	4,02
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,16	0,14	0,14	0,14	0,15	0,13	0,15	0,14
K	1,74	1,77	1,72	1,74	1,78	1,76	1,74	1,75
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Cs	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Suma X	1,97	1,98	1,93	1,96	1,99	1,94	1,95	1,95

Tabla 13. Composiciones representativas en elementos mayores y trazas de la mica blanca (moscovita) presente en la pegmatita de Presqueira. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 22 oxígenos. - por debajo del límite de detección.

Trazas (ppm)	PR-2 (1)	PR-2 (2)	PR-2 (3)	PR-2 (4)	PR-6 (1)	PR-6 (2)	PR-6 (3)	PR-6 (4)
Rb	3926	3883	3804	3681	4380	3602	4329	4398
Cs	3571	3234	3105	3438	4501	1963	4747	3815
P	-	-	-	-	1886	-	-	-
Zn	225	202	174	208	320	304	290	342
K/Rb	21,7	9,0	23,1	23,3	18,4	22,5	18,4	19,3

Tabla 14. Concentraciones de elementos traza en moscovitas pertenecientes a la pegmatita de Presqueira medidos mediante microsonda electrónica.

Trazas (ppm)	PR-4 (1)	PR-4 (2)	PR-4 (3)	PR-4 (4)	PR-4 (5)	PR-4 (6)	PR-4 (7)	PR-4 (8)
Rb	4881	4533	4315	4572	4703	4342	4224	4315
Cs	3870	4018	4786	4829	2562	3162	3400	3489
Ba	116	134	131	146	138	-	118	170
Zn	330	327	306	368	306	265	338	285
K/Rb	17,4	18,8	19,2	18,6	18,4	19,9	20,0	19,7

Tabla 15. Concentraciones de elementos traza en moscovitas pertenecientes a la pegmatita de Presqueira medidos mediante microsonda electrónica.

Las trazas comunes en todas las moscovitas analizadas son rubidio, cesio y, en menor concentración, zinc (tabla 14 y 15). De forma más anecdótica hay bario con concentraciones próximas al límite de detección y, puntualmente, fósforo. Los contenidos de rubidio se sitúan generalmente en el entorno de las 4000 ppm. Las concentraciones en cesio varían en un rango que va desde 2562 a 4829 ppm. El zinc está presente en todas las moscovitas analizadas con valores desde 174 ppm a 368 ppm

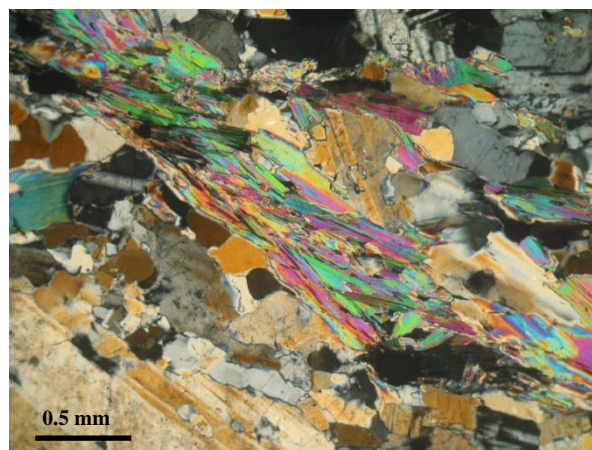


Figura 36. Microfotografía de banda de cristales de moscovita dispuestos con una orientación preferente que separa dominios cuarzo-feldespáticos dando lugar a una foliación.

El **cuarzo** presenta extinción ondulante, bordes lobulados y desarrollo de subgranos, indicativo de una deformación plástica intracrystalina. Se observan también cuarzoes elongados, debido a una mayor deformación, por procesos de recristalización dinámica (figura 37).



Aluminosilicatos de Litio

Los tres aluminosilicatos de litio, eucryptita ( $\text{LiAlSiO}_4$ ), espodumena ( $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ ) y petalita ( $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ) han sido documentados en pegmatitas por varios autores tanto por su interés económico como por su interés petrogenético. En este último sentido es destacable el trabajo clásico de London y Burt (1982) donde establecen los campos de estabilidad de estos aluminosilicatos en función de la presión y la temperatura (figura 38).

En la pegmatita de Presqueira, el aluminosilicato de litio más abundante es espodumena. Esta se presenta en cristales grandes con formas euhedrales y siempre englobada por cuarzo, o formando intercrecimientos irregulares de grano grueso con este mineral (figura 37), que pueden ser simplectíticos (figura 39). Una textura destacable es la que se forma cuando la espodumena y el feldespato potásico están en contacto (figura 39), en estos casos, justo en el contacto, la espodumena desarrolla un intercrecimiento vermiforme de grano muy fino entre dos fase cuya identificación no fue posible mediante microscopía óptica debido a su pequeño tamaño. Progresivamente, al alejarse de dicho contacto, el tamaño de grano aumenta identificándose claramente un intercrecimiento simplectítico entre espodumena y cuarzo hasta dar finalmente los intercrecimientos irregulares de grano grueso entre ambos minerales previamente mencionados.

Para la identificación de las fases que forman los intercrecimientos vermiformes de grano muy fino se obtuvieron imágenes de electrones retrodispersados a grandes aumentos con el microscopio electrónico de barrido y se llevaron a cabo análisis composicionales tanto con el espectrómetro de energía dispersiva del SEM como con la microsonda electrónica. Las composiciones obtenidas se repetían y eran similares en ambas técnicas. Con estos datos se concluyó que las fases minerales que forman estos intercrecimientos (figura 39) son, principalmente, espodumena ( $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ ) y petalita ( $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ), ocasionalmente se identifica cuarzo que pasa a ser dominante al alejarse del contacto con el feldespato potásico. Dado que el litio no es detectable por ninguna de las anteriores técnicas por ser un elemento ligero, la identificación de ambas fases se basó en sus diferentes proporciones de silicio y aluminio (tabla 16), y su comparación con análisis de la literatura y de webs de mineralogía de reconocido prestigio (ej.: webmineral).

A partir de estos resultados, proponemos la posibilidad de que los intercrecimientos de cuarzo y espodumena de la pegmatita de Presqueira sean el resultado de la desestabilización de la petalita de acuerdo a la reacción  $\text{Pet} = \text{Spd} + 2 \text{Qz}$ . La presencia de estos relictos de petalita en los intercrecimientos vermiformes de grano fino apoyaría la cristalización inicial de petalita.

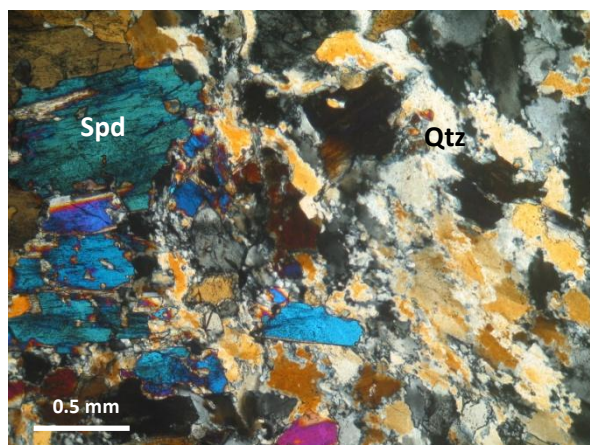


Figura 37. Microfotografía de banda de cristales de moscovita dispuestos con una orientación preferente que separa dominios cuarzo-feldespáticos dando lugar a una foliación.

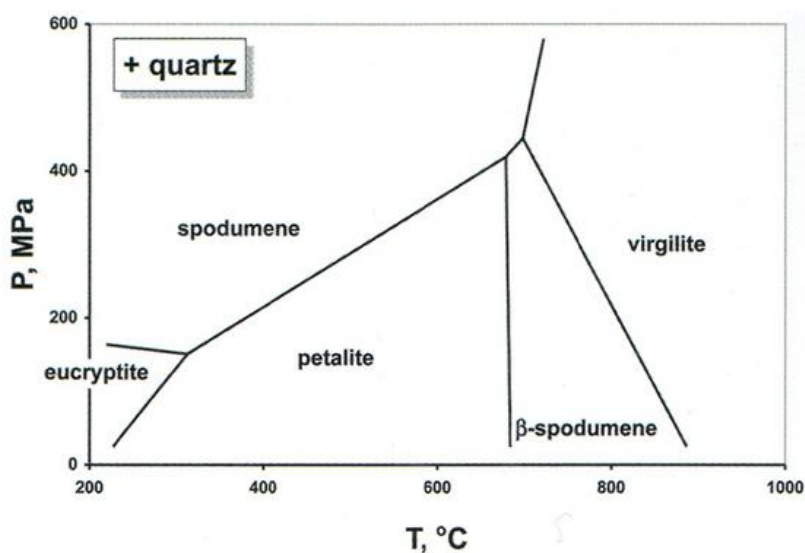


Figura 38. Diagrama de fases (modificado de London y Burt, 1982) de los aluminosilicatos de litio con los campos de estabilidad de eucryptite ( $\text{LiAlSiO}_4$ ),  $\alpha$ -espodumena ( $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ ), petalita ( $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ),  $\beta$ -espodumena ( $\approx \text{LiAlSi}_5\text{O}_{12}$ ) y virgilite ( $\approx \text{LiAlSi}_5\text{O}_{12}$ ).

% en peso	PR-2 (1) Spd	PR-6 (1) Pet	PR-4 (1) Spd	PR-4 (2) Pet	% peso en peso	Petalita Webmineral	Espodumena Webmineral
Si	31,36	36,75	30,64	35,93	Si	36,72	30,18
Al	14,71	9,92	14,19	9,11	Al	8,75	14,5
O	48,93	51,11	47,67	49,78	O	52,43	51,59
Li	-	-	-	-	Li	2,09	3,73
Total	96,04	99,30*	93,19	95,95	Total	100	100

Tabla 16. Composiciones obtenidas en microsonda electrónica y SEM-EDS de las fases que forman los intercrecimientos vermiformes de grano fino; Pet: petalita, Spd: espodumena. \* Análisis de SEM-EDS, las concentraciones son calculados para total de 100, sin considerar el litio. A la derecha composiciones ideales de petalita y espodumena tomadas de Webmineral.

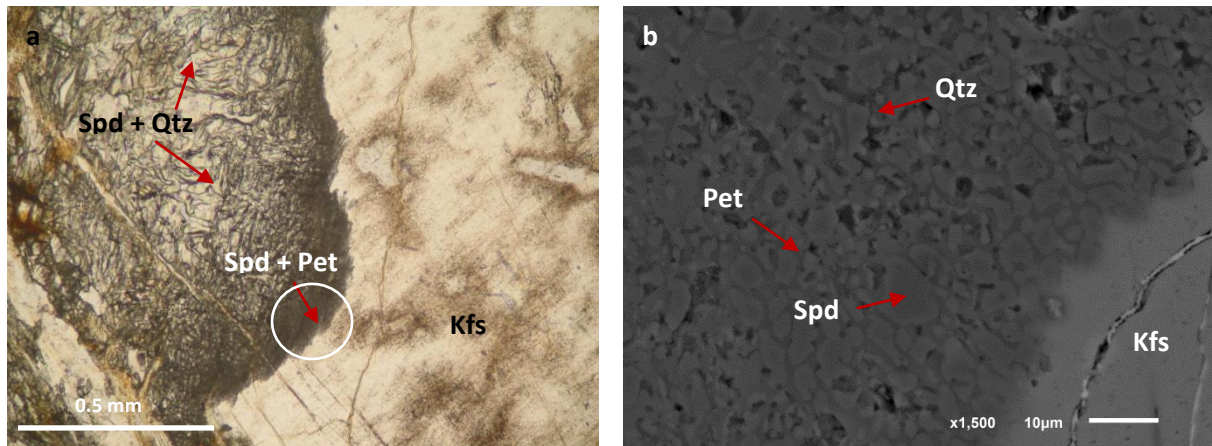


Figura 39. a) Microfotografía (microscopio electrónico) de intercrecimientos de grano grueso de espodumena y cuarzo (Spd+Qtz) en contacto con feldespato potásico (Kfs) donde se forman los intercrecimientos vermiculares de grano fino (Spd+Pet). b) Imagen SEM de electrones retrodispersados de la zona de contacto (señalado con un círculo), donde se observan los intercrecimientos vermiculares entre espodumena y la petalita, ocasionalmente se identifica cuarzo formando parte de esos intercrecimientos.

### Fosfatos

La identificación de estos minerales se realizó gracias al microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS), que nos permitió observar mejor las relaciones texturales que presentan estos minerales mediante imágenes de electrones retrodispersados, y la microsonda electrónica, con el fin de saber con precisión su composición y calcular su fórmula estructural.

El fosfato más abundante en las muestras estudiadas de la pegmatita de Presqueira es fluorapatito de acuerdo a la clasificación de Pasero et al. (2010) (tabla 17). Este fosfato es incoloro y se presenta con formas euhedrales y subhedrales en cristales o grupos de cristales aislados (figura 40). No obstante, también presenta morfologías anhedrales con bordes muy irregulares en contacto con otros minerales a algunos de los cuales parece estar reemplazando, tales como feldespatos, otros fosfatos y cuarzo.

Por otra parte, se han distinguido dos variedades de fosfatos aluminicos pertenecientes a las series de la montebrasita-ambligonita y a la serie de la crandrallita, siendo los primeros los más abundantes.

La serie de la ambligonita-montebrasita forma una solución sólida completa de composición ideal  $\text{LiAlPO}_4(\text{F}, \text{OH})$  donde el término ambligonita es el extremo rico en F ( $\text{LiAlPO}_4\text{F}$ ) y la montebrasita es el extremo rico en OH ( $\text{LiAlPO}_4\text{OH}$ ). De acuerdo con Groat et al. (1990, 2003), en la naturaleza no se ha encontrado el extremo puro de la ambligonita y los términos más ricos que se conocen, poco frecuentes, tienen una relación  $\text{F}/(\text{F} + \text{OH})$  de 0,65. En general, el término composicional que divide los miembros es  $\text{F}/(\text{F} + \text{OH}) = 0,30$ . En la pegmatita de Presqueira, los análisis de microsonda electrónica en esta fase mineral han

permitido clasificarla como **montebrasita**  $\text{Li,Na(PO}_4\text{)(F,OH)}$  con una relación  $F/(F + \text{OH}) < 0,30$  (tabla 18). La montebrasita se presenta con formas de euhedrales a subhedrales en cristales aislados y, con frecuencia, asociada a la espodumena (figura 41)

La serie de la crandallita tiene por fórmula general  $\text{AB}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH,F})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$  donde  $\text{A} = \text{Ca, Sr, Ba, Pb, Bi, Ce, Th}$  y  $\text{B} = \text{Al, Fe}^{3+}$  (Felischer, 1975). Los distintos términos de la serie se establecen en función del catión predominante, formando soluciones sólidas entre ellos. Una de esas soluciones sólidas es la que forman crandallita  $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$ -gorceixita  $\text{BaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$ -goyazita  $\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$ . En la pegmatita de Presqueira, los análisis de microsonda electrónica (tabla 17) han permitido identificar que el término presente de esta serie es el rico en estroncio, la **goyacita**, definida por Kato y Radoslovich (1968). Se presenta en forma de parches con bordes irregulares dentro del feldespato potásico, ocasionalmente en el contacto entre el feldespato potásico y la espodumena (figura 42). La goyacita está intercrecida con fluorapatito y parcialmente reemplazada por el fosfato cálcico (figura 42b).

Finalmente, se identificó la presencia de fosfatos de hierro-manganeso-calcio que se localizan en cavidades y microvenillas, así como en venillas milimétricas que cortan al resto de minerales y son observables tanto en muestra de mano como a nivel de afloramiento. El fosfato que en mayor proporción rellena todos estos espacios abiertos es el fosfato de hierro, **vivianita**, cuya fórmula general es  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (tabla 17), definido por Strunz (1970). En el microscopio óptico se caracteriza por un intenso color azul berlín y fuerte pleocroismo (figura 43). Es muestra de mano es de color azul oscuro y resulta llamativa la proliferación de estas venillas a nivel de afloramiento (figura 44). Asociado a la vivianita se ha identificado un fosfato de calcio, hierro y manganeso, **messelita**, cuya fórmula general es  $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (tabla 17). La messelita, poco abundante, tiene formas anhedrales y forma una corona en torno a la vivianita corroyéndola desde los bordes hacia el interior (figura 45). Dentro de estas microvenillas y asociado a la messelita se presenta esfalerita.

	1	2	3	4	5	6	7
	PR-2	PR-2	PR-2	PR-4	PR-2	PR-2	PR-6
% peso	(1)	(2)	(3)	(1)	(4)	(5)	(6)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	43,16	40,86	41,92	30,81	35,24	33,43	35,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,07	0,00	28,34	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	50,61	30,34	29,82	0,00	0,00	0,13	0,00
MgO	0,00	0,35	0,36	0,00	0,17	0,14	0,13
MnO	2,11	6,00	14,83	0,03	0,84	0,71	0,89
FeO	0,21	13,26	4,76	3,40	43,32	42,13	43,55
SrO	0,05	0,09	0,00	15,95	0,00	0,00	0,00
BaO	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
Rb <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
ZnO	-	-	-	0,02	-	-	-
F	3,61	0,68	0,76	0,42	0,35	0,24	0,35
Total	99,80	91,65	92,45	79,00	79,92	76,80	80,91
O $\equiv$ F, Cl	1,52	0,29	0,32	0,18	0,15	0,10	0,15
Total	98,28	91,36	92,13	78,83	79,78	76,70	80,76
P	5,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,000	0,004	0,000	2,561	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	7,419	1,879	1,801	0,000	0,000	0,010	0,000
Mg	0,000	0,030	0,030	0,000	0,017	0,015	0,013
Mn	0,244	0,294	0,708	0,002	0,048	0,042	0,049
Fe	0,024	0,641	0,224	0,218	2,428	2,490	2,390
Sr	0,004	0,003	0,000	0,709	0,000	0,000	0,000
Ba	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Rb	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Zn	-	-	-	0,001	-	-	-
F	1,562	0,124	0,136	0,101	0,074	0,053	0,073
Fe/(Fe+Mn)	-	0,686	0,241	0,992	0,981	0,983	0,980

Tabla 17. Composiciones y fórmulas estructurales representativas de los fosfatos presentes en la pegmatita de Presqueira. El número 1 corresponde a fluorapatito, el 2 y 3 messelita, 4 goyacita y del 5 al 7 vivianita. \*Excepto el apatito, cuya fórmula estructural se calculó en base a 5 grupos PO<sub>4</sub>, los demás se calcularon en base a 2 grupos PO<sub>4</sub>. - por debajo del límite de detección.



% peso	PR-4 (1)	PR-4 (2)	PR-4 (3)	PR-4 (4)	PR-4 (5)	PR-4 (6)	PR-6 (1)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	53,65	53,06	52,84	54,70	52,99	53,99	53,74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,74	36,16	35,56	36,27	35,49	36,32	36,37
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
F	3,06	2,66	2,12	2,46	2,37	3,38	1,57
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Total	92,45	91,89	90,52	93,42	90,86	93,71	91,79
O $\equiv$ F	1,29	1,12	0,89	1,03	1,00	1,42	0,67
Total	91,16	90,77	89,62	92,39	89,86	92,28	91,12
P	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Al	0,927	0,949	0,937	0,923	0,933	0,937	0,942
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,213	0,187	0,150	0,168	0,167	0,234	0,109
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Li*	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabla 18. Composiciones representativas de montebrasitas presentes en la pegmatita de Presqueira. Las fórmulas estructurales han sido calculadas en base a 1 PO<sub>4</sub>. Li\* = 1 - (Na+K).

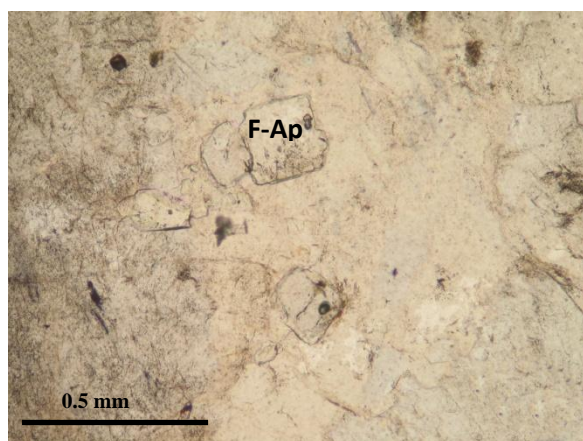


Figura 40. Microfotografía de fluorapatitos (F-Ap) con formas euhedrales.

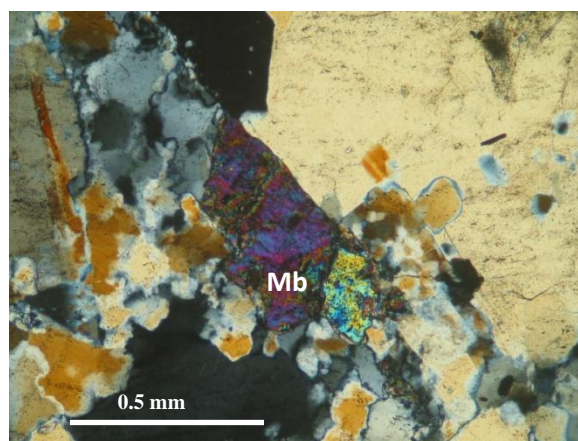


Figura 41. Microfotografía de montebrasita (Mb) con formas subhedrales.

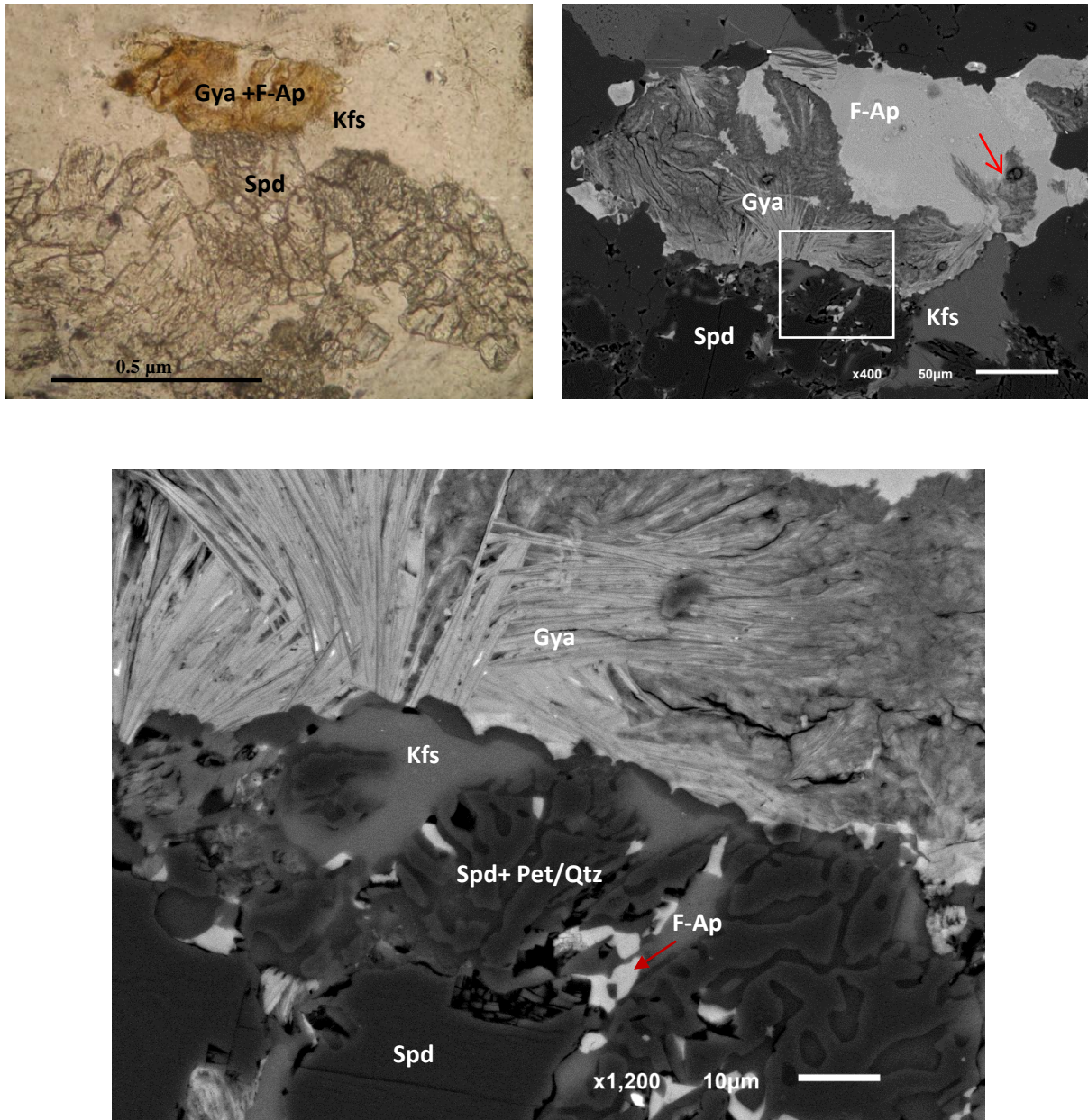


Figura 42. a) Microfotografía (microscopía óptica) de un agregado de bordes irregulares formando un parche en feldespato potásico en contacto con espodumena. Este agregado los constituyen cristales de goyacita (Gya) y fluorapatito (F-Ap). b) Imagen SEM de electrones retrodispersados de este agregado, donde se puede observar el intrecrecimiento entre ambos fosfatos. El fluorapatito parece reemplazar a la goyacita (Gya) englobando islas de esta en su interior como restos no corroídos (flecha roja). c) Imagen SEM de electrones retrodispersados, detalle a mayores aumentos del área marcada con un recuadro en b. Se observa como la goyacita se presenta como un agregado de cristales de hábito acicular. Nótese los restos de feldespato potásico entre los intercrecimientos vermiculares de espodumena-petalita/cuarzo, y fluorapatito rellenando huecos en estos intercrecimientos.



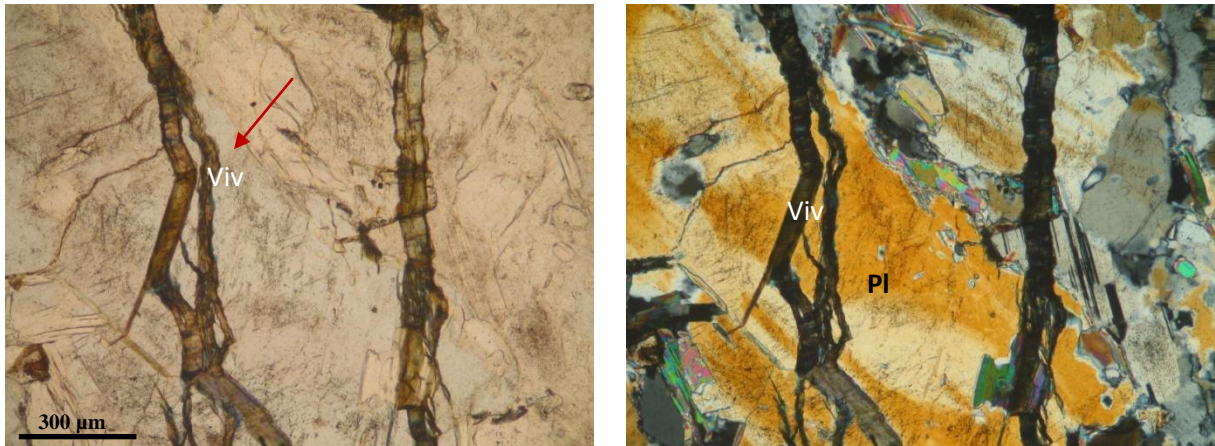


Figura 43. Microfotografía de microvenillas rellenas de vivianita a) luz polarizada b) luz polarizada y analizada.

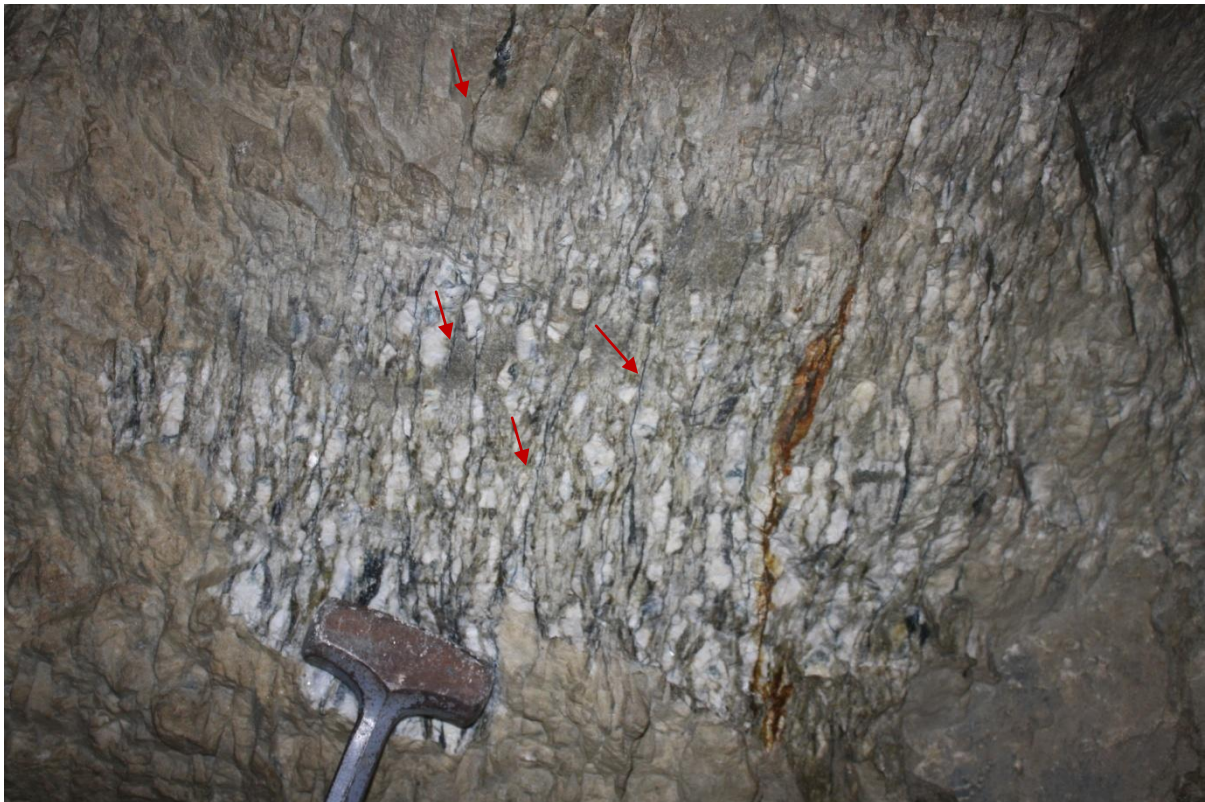


Figura 44. Frente de la pegmatita de Presqueira en la galería de exploración del extremo sur del cuerpo, se observa la abundancia de venillas milimétrica de vivianita (flecha roja)

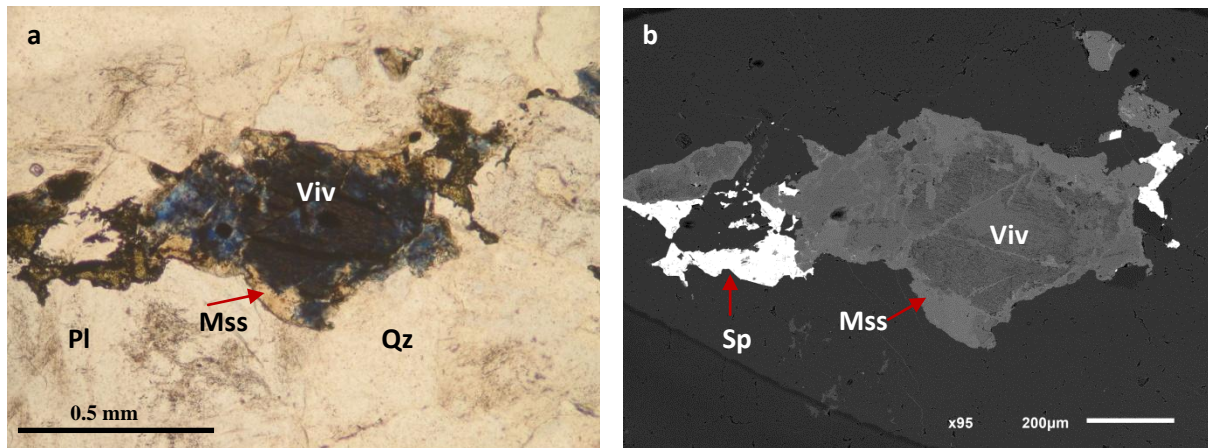


Figura 45. a) Microfotografía (microscopía óptica) de vivianita (Viv) con una corona de messelita (Mss). b) Imagen de electrones retrodispersados de SEM donde se observan las relaciones texturales entre ambos fosfatos, la messelita corroe a la vivianita desde los bordes quedando un relicto sin reemplazar del fosfato de hierro en el centro. Nótese la presencia de esfalerita, color blanco, asociada a estos fosfatos.

Al igual que ocurría en las pegmatitas de Panceiros, las relaciones texturales entre los fosfatos y los silicatos apoyan que se han formado en una etapa posterior a la de cristalización mágmica de los principales silicatos, la única excepción podría ser el fluorapatito, que en algunos casos se presenta en equilibrio con los silicatos. En general, estos fosfatos representan una etapa tardi-magmática de reemplazamiento de las fases silicatadas primarias. El reemplazamiento selectivo del feldespato se explicaría por el contenido relativamente alto en fósforo de este silicato.

Por otro lado, durante la formación de estos fosfatos metasomáticos, las relaciones texturales entre ellos descritas previamente apoyan una secuencia paragenética con una primera etapa representada por una asociación de fosfatos aluminicos, montebrasita y goyacita, durante la cual también se debe formar fluorapatito. Posteriormente, habría una etapa tardía caracterizada por la asociación de fosfatos no aluminicos, vivianita y messelita.

#### Óxidos de estaño, tántalo y niobio

La identificación de estos minerales se realizó mediante microscopía óptica y con el microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS), se pudieron observar zonados y relaciones texturales mediante imágenes de electrones retrodispersados. Además, se utilizó la microsonda electrónica, con el fin de saber con precisión su composición y calcular su fórmula estructural.

Los principales óxidos presentes en la pegmatita de Presqueira son miembros del grupo de la columbotantalita, casiterita y, puntualmente, asociado a ellos uraninita.

El **grupo de la columbo-tantalita** lo forman un conjunto de minerales rómbicos que forman una extensa serie isomorfa con una fórmula general  $AM_2O_6$  donde  $A = Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  y

$M = Ta^{5+}, Nb^{5+}$ , también pueden presentar cantidades menores de Sn, Ti,  $Fe^{3+}$ , Sc y W. La composición que tiene un componente dominante de ferrotantalita ( $Fe > Mn$ ) ( $Ta \gg Nb$ ), cuyo miembro final sería  $FeTa_2O_6$ , ya pertenece a otro grupo de minerales que son tetragonales, el grupo de la tapiolita. No obstante dada su gran similitud geoquímica con el grupo de la columbita-tantalita se suelen agrupar en los trabajos científicos sobre estos óxidos, y así lo haremos en este estudio.

En la pegmatita de Presqueira, estos óxidos se presentan como cristales aislados que dan secciones prismáticas y tabulares y, también, como inclusiones dentro de la casiterita. Su composición, obtenida mediante microsonda electrónica, se presenta en las tablas 19 y 20. La obtenida con espectrómetro de energía dispersiva (EDS) en el microscopio electrónico de barrido se presentan en las tablas 21 y 22. Utilizando el diagrama clásico de clasificación, cuadrilátero de los óxidos de Ta-Nb-Fe-Mn (Černý y Ercit, 1985, 1989), basado en la relación  $Ta/(Ta+Nb)$  y  $Mn/(Mn+Fe)$  se observó que, generalmente, las composiciones varían desde ferrocolumbita a ferrotantalita, aunque también de forma más escasa se presenta ferrotapiolita (figura 46). Esta variación es el reflejo del zonado composicional que muestran estos óxidos dentro de un mismo cristal. Estos zonados composicionales se observaron mediante imágenes de electrones retrodispersados en el SEM. En general, en cada cristal se puede definir claramente un núcleo más rico en niobio y una, o más, bandas externas que son cada vez más ricas en tántalo (figuras 47 y 48). Cada banda representa, probablemente, una etapa de crecimiento del cristal. En cada uno de estas bandas bien delimitadas hay, a su vez, zonados oscilatorios (figura 47) que son en parte truncados por la siguiente banda. De acuerdo a Lathi (1987) este tipo de zonados internos apoya que cada banda represente una nueva etapa de crecimiento del cristal. En la parte más externa de algunos cristales se observa una banda de bordes irregulares, especialmente rica en tántalo, que corta el bandeo oscilatorio descrito (figura 49). Frecuentemente, la uraninita se encuentra asociada a estas coronas externas de los cristales, aunque también puede aparecer como inclusiones en el interior de los cristales (figura 49). En cuanto a la ferrotapiolita, esta tiene una composición homogénea y se presenta en los bordes de los cristales antes descritos o como parches lobulados e irregulares que cortan los zonados previos (figura 50).



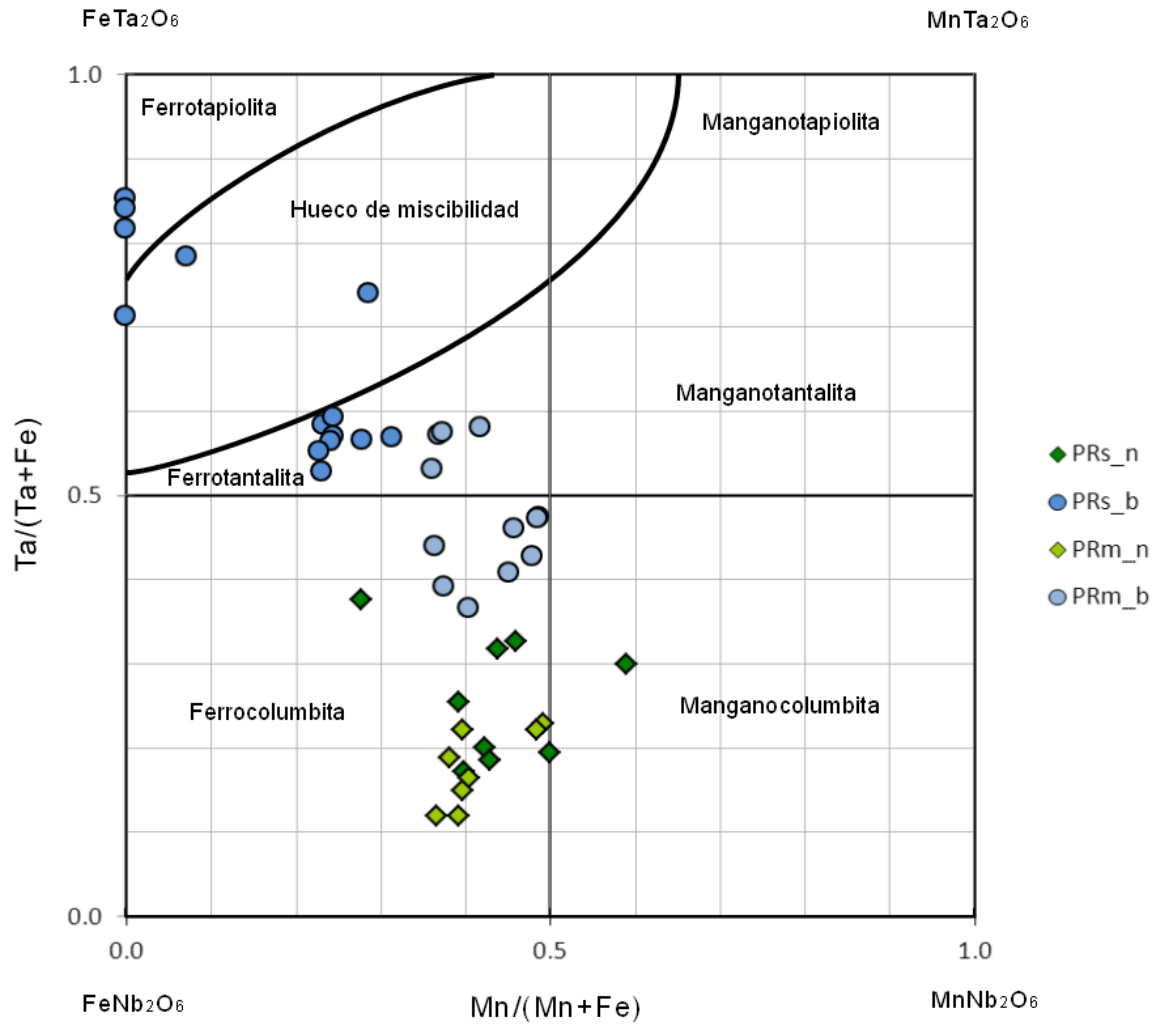


Figura 46. Cuadrilátero de los óxidos de Ta-Nb-Fe-Mn. Los rombos corresponden a zonas de núcleo en los cristales (PRs\_n) y los círculos a las bandas externas (PRs\_b). En estos símbolos, la tonalidad de color claro indica análisis de microsonda electrónica y la tonalidad oscura indica análisis con SEM-EDS.

**CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO PEGMATÍTICO DE PANCEIROS Y LA PEGMATITA DE PRESQUEIRA:**

% en peso	PR-4 (1)	PR-4 (2)	PR-4 (3)	PR-4 (4)	PR-5 (1)	PR-5 (2)	PR-5 (3)	PR-5 (4)	PR-5 (5)	PR-5 (6)	PR-5 (7)
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	59,78	25,91	62,43	40,79	58,84	26,21	38,48	25,83	55,80	66,52	40,78
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	19,52	59,53	18,27	39,32	22,72	58,17	50,37	58,08	26,43	15,00	43,60
MnO	7,27	6,39	7,28	7,04	7,03	5,55	5,74	5,67	7,08	6,74	6,06
FeO	10,82	9,00	11,15	10,52	11,49	9,60	10,17	9,66	10,88	11,73	10,24
SnO <sub>2</sub>	0,83	0,69	0,62	0,25	0,22	0,21	0,30	0,16	0,33	0,24	0,20
ZnO	0,12	0,11	0,12	0,11	0,14	0,11	0,07	0,10	0,13	0,18	0,10
UO <sub>2</sub>	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PbO	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,59	101,63	100,02	98,03	100,44	99,85	105,15	99,50	100,66	100,40	100,97
Fórmula estructural en base a 6 oxígenos											
Fe	0,558	0,542	0,565	0,601	0,590	0,586	0,558	0,593	0,565	0,582	0,573
Mn	0,380	0,390	0,373	0,407	0,365	0,343	0,319	0,352	0,373	0,339	0,344
Posición A	0,937	0,932	0,938	1,008	0,955	0,930	0,878	0,945	0,938	0,920	0,916
Nb	1,666	0,843	1,709	1,259	1,632	0,866	1,142	0,857	1,568	1,783	1,234
Ta	0,327	1,166	0,301	0,730	0,379	1,155	0,899	1,159	0,447	0,242	0,794
Sn	0,020	0,020	0,015	0,007	0,005	0,006	0,008	0,005	0,008	0,006	0,005
Pb	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Zn	0,005	0,006	0,005	0,006	0,006	0,006	0,004	0,005	0,006	0,008	0,005
Posición M	2,030	2,029	2,027	1,996	2,017	2,027	2,049	2,021	2,024	2,030	2,033
Mn/(Mn+Fe)	0,405	0,418	0,398	0,404	0,383	0,369	0,364	0,373	0,397	0,368	0,375
Ta/(Ta+Nb)	0,164	0,580	0,150	0,367	0,188	0,572	0,441	0,575	0,222	0,119	0,391

Tabla 19. Composiciones y fórmulas estructurales de los óxidos de Ta-Nb-Fe-Mn de la pegmatita de Presqueira analizados mediante la microsonda electrónica.

**CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO PEGMATÍTICO DE PANCEIROS Y LA PEGMATITA DE PRESQUEIRA:**

% en peso	PR-5 (8)	PR-5 (9)	PR-5 (10)	PR-7 (1)	PR-7 (2)	PR-7 (3)	PR-7 (4)	PR-7 (5)	PR-6 (1)	PR-7 (6)	PR-7 (7)
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	66,28	28,52	63,18	55,22	38,57	55,97	36,68	34,29	62,62	32,04	30,25
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14,91	53,68	17,33	27,19	44,26	26,45	45,59	48,80	20,17	48,21	45,25
MnO	7,39	5,69	7,08	8,52	7,19	8,48	7,62	6,99	7,30	7,70	7,53
FeO	11,53	10,21	11,61	8,88	8,82	9,12	8,38	8,40	9,46	8,21	8,11
SnO <sub>2</sub>	0,38	0,62	0,31	0,55	0,89	0,61	1,09	1,05	0,43	0,27	2,29
ZnO	0,18	0,10	0,10	0,12	0,07	0,07	0,06	0,06	0,13	0,00	0,10
UO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PbO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,67	98,81	99,62	100,47	99,81	100,71	99,58	99,59	100,11	96,43	93,53
Fórmula estructural en base a 6 oxígenos											
Fe	0,570	0,620	0,587	0,464	0,504	0,474	0,484	0,491	0,479	0,499	0,508
Mn	0,370	0,350	0,363	0,451	0,416	0,446	0,446	0,414	0,375	0,474	0,478
Posición A	0,941	0,970	0,950	0,914	0,919	0,920	0,930	0,906	0,854	0,973	0,987
Nb	1,773	0,936	1,727	1,559	1,190	1,572	1,145	1,085	1,715	1,052	1,025
Ta	0,240	1,060	0,285	0,462	0,821	0,447	0,856	0,928	0,332	0,952	0,923
Sn	0,009	0,018	0,007	0,014	0,024	0,015	0,030	0,029	0,010	0,008	0,069
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,008	0,005	0,004	0,006	0,004	0,003	0,003	0,003	0,006	0,000	0,006
Posición M	2,022	2,013	2,020	2,035	2,036	2,034	2,033	2,042	2,058	2,013	2,017
Mn/(Mn+Fe)	0,394	0,361	0,382	0,493	0,452	0,485	0,480	0,457	0,439	0,487	0,485
Ta/(Ta+Nb)	0,119	0,531	0,142	0,229	0,408	0,221	0,428	0,461	0,162	0,475	0,474

Tabla 20. Composiciones y fórmulas estructurales de los óxidos de Ta-Nb-Fe-Mn de la pegmatita de Presqueira analizados mediante la microsonda electrónica.

**CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO PEGMATÍTICO DE PANCEIROS Y LA PEGMATITA DE PRESQUEIRA:**

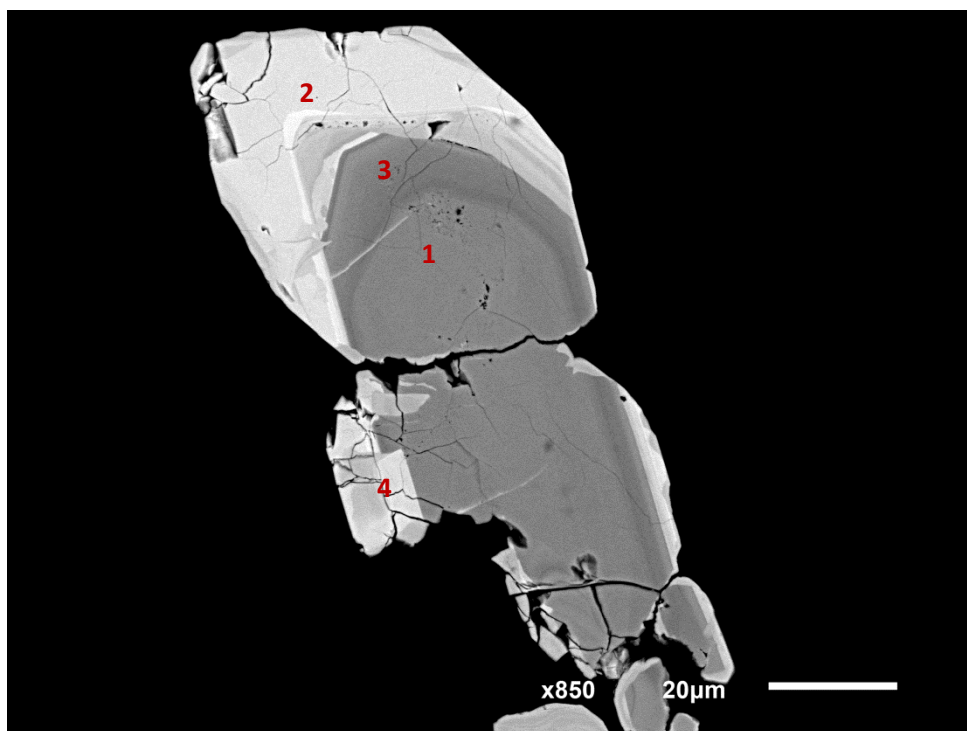
% peso	PR-1 (1)	PR-1 (2)	PR-1 (3)	PR-1 (4)	PR-1 (5)	PR-1 (6)	PR-1 (7)	PR-1 (8)	PR-1 (9)	PR-1 (10)
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42,06	25,71	7,77	8,23	23,88	9,28	36,08	22,72	23,22	52,93
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	32,49	47,76	74,67	71,70	51,82	68,44	36,08	53,06	56,23	22,04
MnO	6,60	3,05	0,00	0,00	3,63	0,00	3,68	2,94	3,24	6,21
FeO	8,52	10,28	12,62	11,94	9,53	11,98	9,67	9,80	10,11	8,56
SnO <sub>2</sub>	1,54	4,09	0,00	0,00	2,35	1,50	2,77	1,36	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	1,75	1,45	1,13	2,62	1,12	2,19	1,90	1,57	1,42	2,30
PbO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	92,95	92,33	96,19	94,49	92,33	93,39	90,18	91,45	94,22	92,04
Fórmula estructural en base a 6 oxígenos										
Fe	0,496	0,660	0,882	0,832	0,623	0,840	0,595	0,648	0,652	0,473
Mn	0,389	0,198	0,000	0,000	0,240	0,000	0,229	0,197	0,212	0,348
Posición A	0,885	0,858	0,882	0,832	0,863	0,840	0,824	0,845	0,864	0,821
Ti	0,092	0,084	0,071	0,164	0,066	0,138	0,105	0,093	0,082	0,115
Nb	1,324	0,892	0,293	0,310	0,843	0,352	1,200	0,812	0,809	1,583
Ta	0,615	0,997	1,697	1,626	1,101	1,561	0,722	1,141	1,179	0,397
Sn	0,043	0,125	0,000	0,000	0,073	0,050	0,081	0,043	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Posición M	2,073	2,099	2,061	2,100	2,083	2,101	2,108	2,089	2,071	2,094
Mn/(Mn+Fe)	0,440	0,231	0,000	0,000	0,278	0,000	0,278	0,233	0,245	0,424
Ta/(Ta+Nb)	0,317	0,528	0,853	0,840	0,566	0,816	0,376	0,584	0,593	0,200

Tabla 21. Composiciones y fórmulas estructurales de los óxidos de Ta-Nb-Fe-Mn de la pegmatita de Presqueira analizados en el microscopio electrónico de barrido.

% peso	PR-1 (12)	PR-1 (13)	PR-1 (14)	PR-1 (15)	PR-1 (16)	PR-1 (17)	PR-1 (18)	PR-1 (19)	PR-2 (1)	PR-2 (2)	PR-2 (3)
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42,34	24,35	24,95	54,09	26,08	11,03	45,55	25,13	51,44	58,01	59,12
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	34,15	53,63	53,74	21,64	53,51	66,59	32,29	55,05	29,01	21,98	20,32
MnO	6,78	3,29	3,20	7,76	2,91	0,84	9,44	4,60	6,48	7,14	6,82
FeO	8,03	10,32	10,15	7,85	9,94	10,95	6,61	10,19	10,10	9,60	10,36
SnO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	1,92	1,57	1,08	1,90	1,43	1,52	1,63	1,17	0,00	0,00	0,00
PbO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	93,22	93,16	93,13	93,23	93,87	92,55	95,52	96,13	97,03	96,72	96,62
Fórmula estructural en base a 6 oxígenos											
Fe	0,466	0,666	0,657	0,429	0,633	0,772	0,371	0,639	0,552	0,509	0,547
Mn	0,399	0,215	0,210	0,429	0,187	0,060	0,536	0,292	0,359	0,384	0,364
Posición A	0,865	0,881	0,866	0,858	0,821	0,832	0,908	0,931	0,911	0,893	0,911
Ti	0,100	0,091	0,063	0,093	0,082	0,096	0,082	0,066	0,000	0,000	0,000
Nb	1,329	0,849	0,872	1,598	0,898	0,420	1,382	0,852	1,520	1,664	1,687
Ta	0,645	1,125	1,131	0,384	1,108	1,526	0,589	1,123	0,516	0,379	0,349
Sn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Posición M	2,074	2,066	2,066	2,075	2,088	2,097	2,053	2,041	2,036	2,043	2,036
Mn/(Mn+Fe)	0,461	0,244	0,242	0,500	0,228	0,072	0,591	0,314	0,394	0,430	0,400
Ta/(Ta+Nb)	0,327	0,570	0,564	0,194	0,552	0,784	0,299	0,568	0,253	0,186	0,171

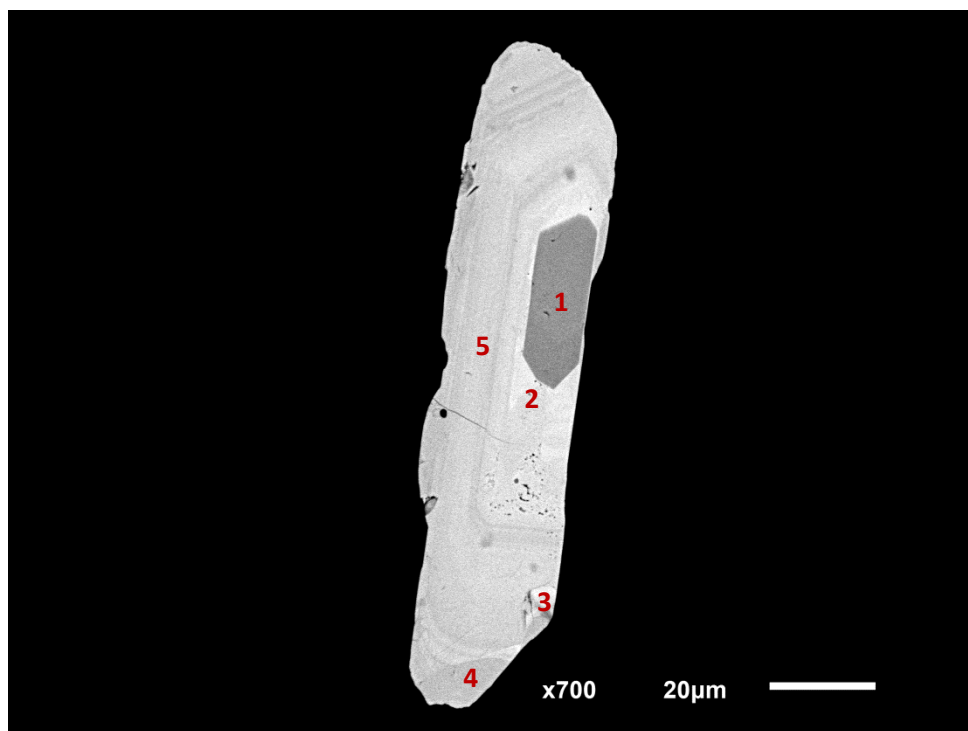
Tabla 22. Composiciones y fórmulas estructurales de los óxidos de Ta-Nb-Fe-Mn de la pegmatita de Presqueira analizados en el microscopio electrónico de barrido.





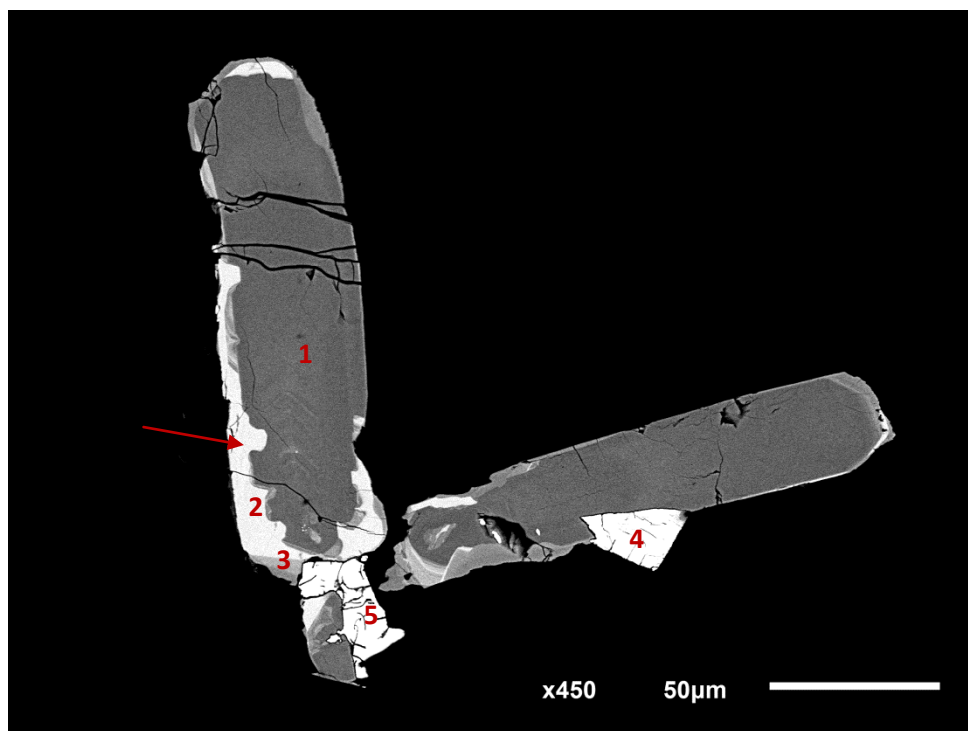
% en peso	1	2	3	4
O	28,55	23,81	27,81	24,5
Ti				0,39
Mn	4,66	4,13	5,2	4,23
Fe	7,65	7,19	7,66	7,09
Nb	40,23	15,93	40,84	17,2
Ta	18,92	48,95	18,49	46,6
Total	100	100	100	100

Figura 47. Imagen con SEM de electrones retrodispersados de un cristal de columbo-tantalita de la pegmatita de Presqueira en el que se observan los zonados composicionales, las zonas más oscuras son más ricas en niobio y las más claras en tántalo. Nótese los zonados oscilatorios truncados (ver explicación en el texto). Se adjunta tabla con los análisis químicos realizados con SEM-EDS en los puntos señalados en la imagen.



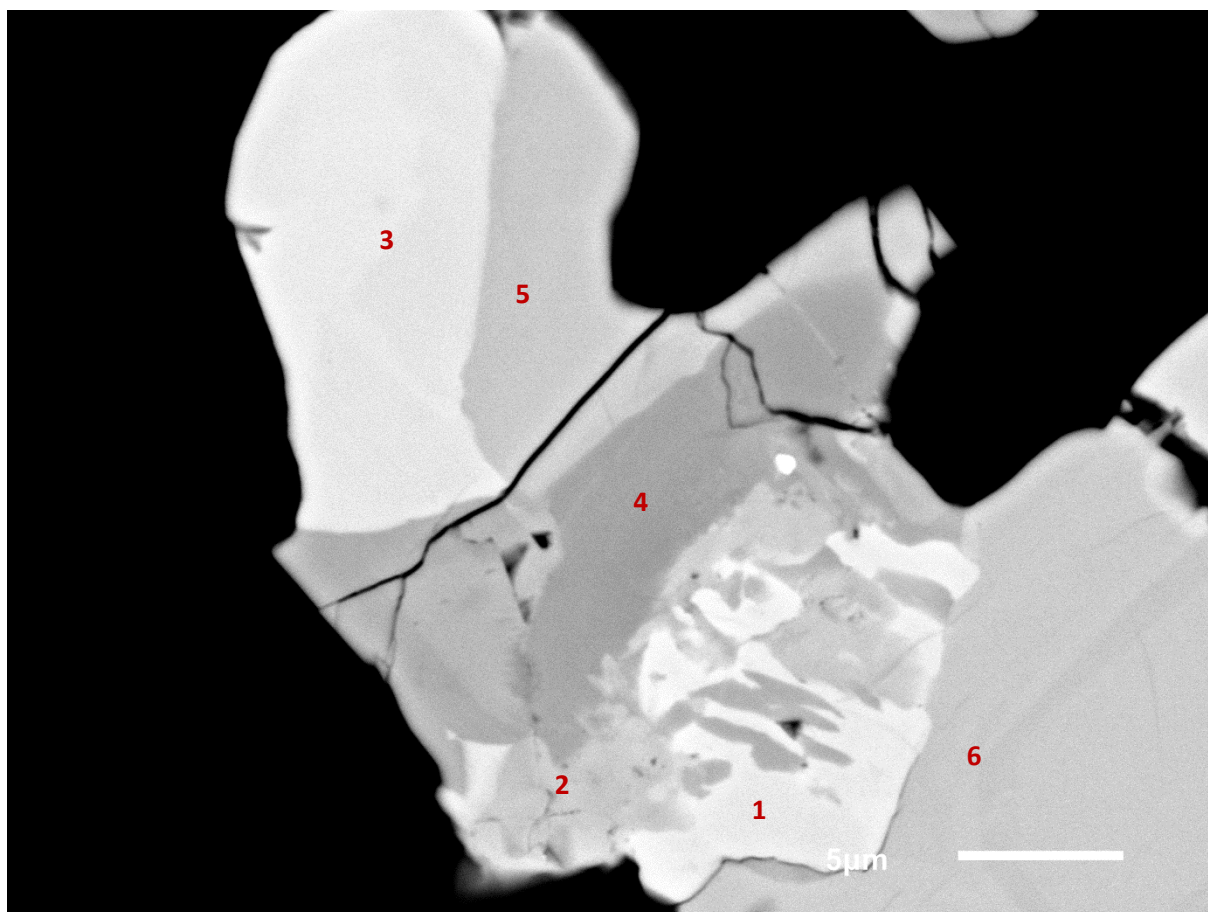
% en peso	1	2	3	4	5
O	25,71	24,43	23,3	25,21	24,16
Ti		0,59			0,6
Mn	6,47	5,18	5,39	5,24	5,42
Fe	6,93	6,41	5,76	6,55	6,4
Nb	37,09	18,53	17,75	28,08	24,39
Sn		1,39			
Ta	23,8	43,47	47,79	34,93	39,03
Total	100	100	100	100	100

Figura 48. Imagen con SEM de electrones retrodispersados de un cristal de columbo-tantalita de la pegmatita de Presqueira en el que se observan los zonados composicionales, las zonas más oscuras son más ricas en niobio y las más claras en tantalito. Nótese los zonados oscilatorios en la corona externa más rica en tantalito. Se adjunta tabla con los análisis químicos realizados con SEM-EDS en los puntos señalados en la imagen.



% peso	1	2	3	4	5
O	29,37	22,5	26,41	19,78	19,95
Ti	1,49				
Mn	5,33	4,79	4,7		
Fe	7,67	6,84	7,12		
Nb	40,63	15,32	28,74		
Ta	15,51	50,55	33,03		
U				80,22	80,05
Total	100	100	100	100	100

Figura 49. Imagen con SEM de electrones retrodispersados mostrando un cristal de columbo-tantalita de la pegmatita de Presqueira con zonados composicionales, las zonas más oscuras son más ricas en niobio y las más claras en tántalo. Nótese la banda irregular externa (flecha roja), muy rica en tántalo, parece corroer y reemplazar un cristal idiomórfico de columbo-tantalita con zonados oscilatorios. Obsérvese los cristales de uraninita (puntos 4 y 5) creciendo sobre el borde del cristal de columbo-tantalita. Se adjunta tabla con los análisis químicos realizados con SEM-EDS en los puntos señalados en la imagen.



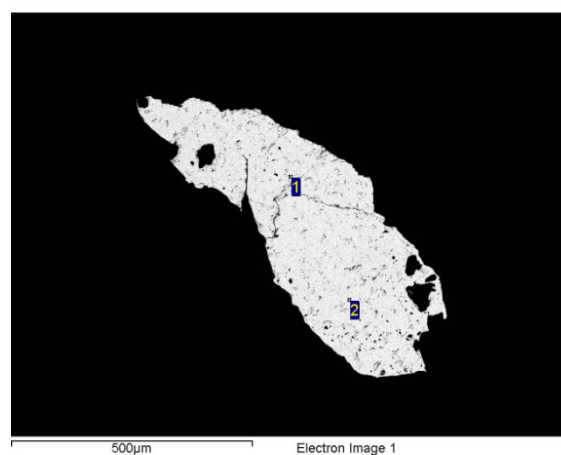
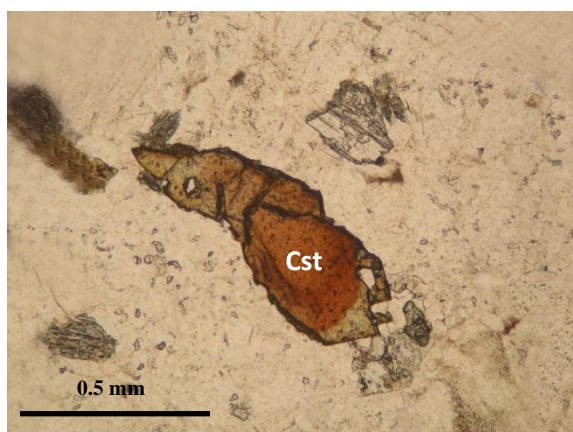
% en peso	1	2	3	4	5	6
O	24,68	28,14	25,66	31,54	28,77	26,49
Ti	1,57	0,67	1,31	1,14	0,94	0,85
Mn		2,81		2,85	2,28	2,51
Fe	9,28	7,41	9,31	7,52	7,62	7,86
Nb	5,75	16,69	6,49	25,22	15,88	16,23
Sn		1,85	1,18	2,18	1,07	
Ta	58,72	42,44	56,05	29,55	43,45	46,05
Total	100	100	100	100	100	100

Figura 50. Imagen con SEM de electrones retrodispersados de un agregado de cristales de óxidos de Ta-Nb-Fe-Mn-Sn en la pegmatita de Presqueira. Los puntos 1 y 3 corresponden a ferrotapiolita. Se adjunta tabla con los análisis químicos realizados con SEM-EDS en los puntos señalados en la imagen.

La **casiterita**, mena principal de estaño tiene por fórmula general  $AO_2$ , donde  $A = Sn^{4+}$  aunque también pueden entrar en esta posición  $Ti^{4+}$ ,  $Ta^{5+}$  y  $Nb^{5+}$ . Se presenta en cristales subhedrales, generalmente maclados, con zonados de color al microscopio óptico que en los cristales estudiados no parecen ser reflejo de un zonado composicional (figura 51a, b). Los análisis de SEM-EDS (tabla 23) indican que algunas casiteritas tienen contenidos en tántalo, entre 1 y 2 % en peso, y en niobio hasta 2 % en peso. Además, este óxido de estaño presenta inclusiones de minerales del grupo de la columbo-tantalita con composiciones similares a las antes descritas para los cristales aislados (figura 52).

% en peso	1	2	3	4	5	8	9	10
O	33,15	33,19	35,44	33,26	33,91	30,69	30,59	30,67
Sn	66,85	66,81	64,56	65,65	66,09	62,38	67,77	68,81
Fe						0,88		
Nb						2,69		
Ta				1,09		2,3	1,34	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

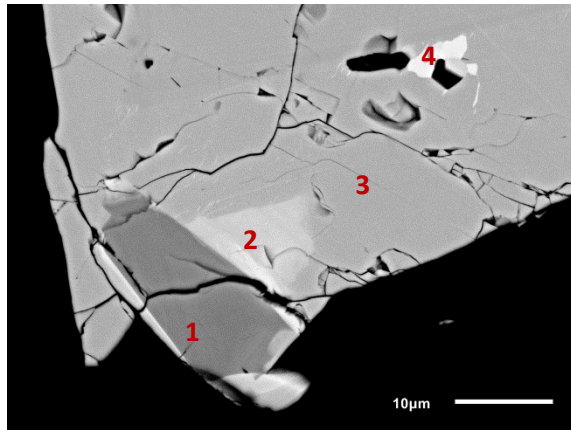
Tabla 23. Composiciones de las casiteritas de la pegmatita de Presqueira analizados en el microscopio electrónico de barrido.



% en peso	1	2
O	33,15	33,19
Sn	66,85	66,81
Total	100	100

Figura 51. a) Microfotografía (microscopía óptica) de casiterita subhedral con zonado de color. b) La misma casiterita en una imagen de electrones retrodispersados. Se adjunta tabla con los análisis químicos realizados con SEM-EDS en los puntos señalados en la imagen.





% en peso	1	2	3	4
O	31,22	27,1	35,44	26,4
Ti	1,14	0,86		0,91
Mn	6,01	2,25		0,65
Fe	6,1	7,73		8,51
Nb	37,81	18,23		7,71
Sn			64,56	1,28
Ta	17,72	43,82		54,53
Total	100	100	100	100

Figura 52. Imagen SEM de electrones retrodispersados de casiterita con varias inclusiones de columbotantalatos. Se adjunta tabla con los análisis químicos realizados con SEM-EDS en los puntos señalados en la imagen.

## GEOQUÍMICA

En el presente capítulo se pretende caracterizar geoquímicamente tanto el grupo de pegmatitas de Panceiros como la pegmatita de Presqueira, y comparar sus características geoquímicas más destacadas. En este estudio geoquímico también se han incluido los granitos que pueden tener una relación genética con estas pegmatitas, los posibles granitos parentales. Por otro lado, se ha llevado a cabo una geoquímica de roca total en los metasedimentos encajantes de estos cuerpos para establecer que elementos son aportados o lixiviados en los halos de alteración de las pegmatitas estudiadas.

Esta caracterización se basa tanto en los resultados de geoquímica de roca total como en los de geoquímica mineral, ambos se describen por separado a continuación.

## GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

Los análisis geoquímicos de roca total se realizaron en cinco cuerpos del campo pegmatítico de Panceiros, en la pegmatita de Presqueira, en los tres granitos que afloran en el área de estudio que podrían ser los posibles granitos parentales, y en los metasedimentos (Grupo Santa Baia y Grupo Paraño) que constituyen el encajante de estos cuerpos. En este último caso, se tomaron muestras tanto en el entorno de las pegmatitas, afectado por turmalinización, como en zonas alejadas de la presencia de cuerpos pegmatíticos, con el fin de realizar los cálculos de “transferencia de masa” durante la alteración del encajante. Por tanto, se realizaron 16 análisis de roca total, tanto de elementos mayores como traza (tablas 24 y 25) 6 de ellos de pegmatitas, 3 de granitos y 7 de esquistos. Los elementos analizados fueron los siguientes:

Elementos mayores (en % en peso)

Óxido	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Lím. det.	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002

Elementos traza (en ppm)

Elemento	Ba	Be	Cs	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	U	W	Zr	Y	As	Li
Lím. det.	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	0,5	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	1	0,1

Tierras raras (en ppm)

Elemento	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Lím. det.	0,1	0,1	0,02	0,3	0,05	0,02	0,05	0,01	0,05	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01

## Elementos Mayores

Las pegmatitas estudiadas (tabla 24) presentan contenidos elevados en  $\text{SiO}_2$  superiores al 73% en peso. Todas ellas tienen concentraciones bajas en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , con un valor similar en todos los cuerpos pegmatíticos de Panceiros, entre 0,7-0,8 % en peso, que es superior al valor de la pegmatita de Presqueira. Los contenidos en  $\text{CaO}$  están en el mismo rango en todas las pegmatitas, 0,1-0,2 % en peso, excepto en una de las pegmatitas de Panceiros (PAN-1) con un valor de 0,43 % en peso. En todas, las concentraciones de  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{TiO}_2$  son muy pequeñas, normalmente, por debajo del 0,1% en peso e incluso por debajo del límite de detección de los análisis. En general, las concentraciones de  $\text{Na}_2\text{O}$  (3,9 a 4,9 % en peso) son ligeramente superiores a las de  $\text{K}_2\text{O}$  (3,3 a 4,7 % en peso) en los cuerpos de Panceiros, salvo en tres de ellos (PAN-3, PAN-4 y PAN-5) donde el contenido en ambos óxidos es aproximadamente igual. En la pegmatita de Presqueira se observa una mayor diferencia entre el contenido más alto en  $\text{Na}_2\text{O}$  (4,9 % peso) que en  $\text{K}_2\text{O}$  (2,4 % peso). Como se mencionó en el capítulo previo, los estudios mineralógicos y petrográficos indican que esta pegmatita ha sido afectada por un proceso de albitización muy intenso, esto podría explicar, estos contenidos más altos en sodio frente a potasio. En todas las pegmatitas estudiadas la concentración en  $\text{P}_2\text{O}_5$  es baja, entre 0,2 y 0,6 % en peso.

Todas las pegmatitas, tanto las de Panceiros como la de Presqueira, se caracterizan por ser peraluminicas (figura 53) con valores del índice A/CNK entre 1,18 y 1,49, y del índice ISA entre 1,25 y 1,54, correspondiendo los valores más elevados a la pegmatita de Presqueira. La pequeña diferencia existente entre los dos índices se debe a la baja concentración de  $\text{CaO}$  de todos estos cuerpos.

Los granitos analizados (tabla 25), de acuerdo a la terminología usada en el mapa de la figura 6 son: el *granito de dos micas de grano medio a grueso* (GRP), el *granito de dos micas de grano fino a medio* (GRM) y el *granito de dos micas inhomogéneo* (GRT). Los tres granitos presentan contenidos elevados en  $\text{SiO}_2$  entre 72 - 73% en peso. Las concentraciones en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1,4 - 2 % en peso),  $\text{CaO}$  (0,4 - 0,6 % en peso),  $\text{MgO}$  (0,2 - 0,3 % en peso),  $\text{TiO}_2$  (0,1 - 0,2 % en peso) y  $\text{MnO}$  ( $0,03 \pm 0,01$  % en peso) son bajas, aunque superiores a las de las pegmatitas. Las concentraciones más altas en estos elementos las presenta *el granito de dos micas inhomogéneo* salvo  $\text{CaO}$  que es ligeramente superior en *el granito de dos micas de grano medio a grueso* con un valor de 0,67 % en óxido. En todos los granitos la concentración de  $\text{K}_2\text{O}$  (4 - 5 % en peso) es superior a la de  $\text{Na}_2\text{O}$  (3% en peso) y el contenido en  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,2 - 0,3 % en peso) es inferior al de las pegmatitas.

Los tres granitos se caracterizan por ser peraluminicos (figura 53), al igual que las pegmatitas, con valores del índice A/CNK entre 1,23 y 1,31, y del índice ISA entre 1,35 y 1,40. La diferencia entre los índices A/CNK e ISA, es ligeramente mayor a la diferencia de estos índices en las pegmatitas debido a que los granitos presentan mayor concentración en  $\text{CaO}$ . Proyectando los datos en el diagrama Alkalís vs.  $\text{SiO}_2$ , se sitúan en el campo calcoalcalino, cerca del límite con el campo alcalino (figura 54).

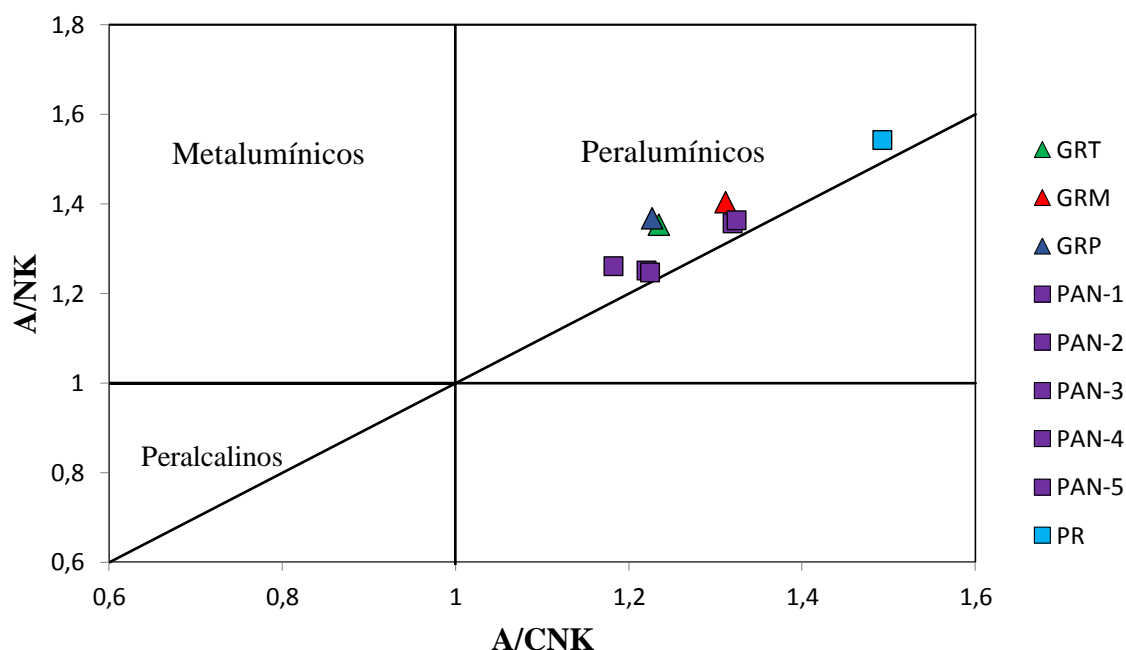


Figura 53. Diagrama de índices de saturación de alúmina de Shand (1927), A/CNK vs. ISA, donde se proyectan los datos correspondientes a las pegmatitas de Panceiros (PAN), la pegmatita de Presqueira (PR) y a los posibles granitos parentales: (GRP) granito de dos micas de grano medio a grueso, (GRM) granito de dos micas de grano fino a medio y (GRT) granito de dos micas inhomogéneo.

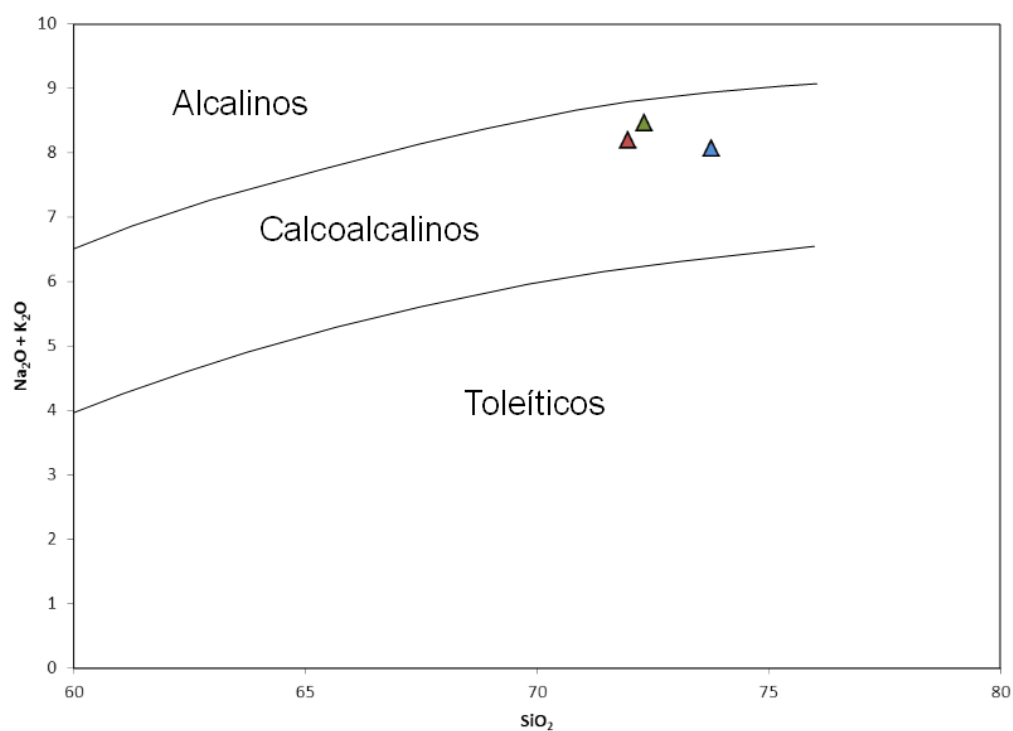


Figura 54. Diagrama Alcalis vs SiO<sub>2</sub> donde se proyectan los posibles granitos parentales: (GRP) granito de dos micas de grano medio a grueso, (GRM) granito de dos micas de grano fino a medio y (GRT) granito de dos micas inhomogéneo.

% en peso	PANCEIROS					PRESQUEIRA
	PAN-1	PAN-2	PAN-3	PAN-4	PAN-5	PR
SiO <sub>2</sub>	74,19	74,34	73,69	75,62	74,41	73,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,74	14,93	15,11	14,16	14,59	16,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,71	0,83	0,71	0,84	0,79	0,43
MgO	0,01	0,06	0,02	0,04	0,07	0,01
CaO	0,43	0,17	0,17	0,17	0,12	0,2
Na <sub>2</sub> O	4,92	4,38	4,24	3,97	4,17	4,95
K <sub>2</sub> O	3,32	3,51	4,71	3,56	4,47	2,46
TiO <sub>2</sub>	-	0,02	-	0,01	0,03	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,68	0,33	0,44	0,36	0,24	0,5
MnO	0,09	0,08	0,13	0,08	0,02	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,009	0,009	0,007	0,007	0,01	0,007
LOI	0,8	1,3	0,7	1,1	1,0	0,8
Total	99,10	98,66	99,23	98,82	98,92	98,99
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	8,24	7,89	8,95	7,53	8,64	7,41
A/CNK	1,18	1,32	1,22	1,32	1,22	1,49
A/NK (ISA)	1,26	1,36	1,25	1,36	1,25	1,54
ppm						
Li	35	63	24,2	97,7	56,8	>2000,0
Be	95	40	5	54	1	145
Rb	468,8	324,7	467,9	439,5	382,2	999,5
Cs	14,5	12,9	11,1	22,6	17,5	59,2
Nb	19,9	22,6	16,6	27,6	15,2	66,4
Ta	3,6	7,5	4	16	4,1	64,2
Sn	30	27	24	38	27	845
W	5,2	7	4,6	5,3	5,3	3,3
Ba	10	26	7	7	9	3
Sr	51,1	16,2	9,4	9,6	6,2	94,8
U	18,5	6,6	7,9	9,6	4,4	12,3
Hf	0,8	0,7	0,8	0,5	1	1,9
Zr	15	16	14,4	11,3	14,9	21,3
Y	1,4	1,5	1	2,3	1	0,4
As	26	14	593	44	21	2

Tabla 24. Análisis químicos de roca total de elementos mayores y traza de 5 pegmatitas del campo de Panceiros (PAN-1 a PAN-5) y de la pegmatita de Presqueira (PR). La concentración de los elementos mayores se expresa en % en peso del óxido y la de los elementos traza en ppm. Se muestran los índices A/CNK (=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO)) e ISA (=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)), expresados en % molar del óxido. LOI es la pérdida por calcinación, expresado en % en peso. (-) valores por debajo del límite de detección.



% en peso	GRANITOS		
	GRT	GRM	GRP
SiO <sub>2</sub>	72,31	71,97	73,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,78	14,84	14,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,01	1,63	1,43
MgO	0,36	0,26	0,26
CaO	0,58	0,41	0,67
Na <sub>2</sub> O	3,13	3,03	3,26
K <sub>2</sub> O	5,33	5,16	4,81
TiO <sub>2</sub>	0,23	0,15	0,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28	0,35	0,23
MnO	0,04	0,03	0,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,008	0,011	0,009
LOI	0,8	2,1	0,8
Total	99,058	97,841	99,069
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	8,46	8,19	8,07
A/CNK	1,23	1,31	1,23
A/NK (ISA)	1,35	1,40	1,37
ppm			
Li	156,6	225,5	119
Be	2	8	5
Rb	384,3	404,3	250
Cs	18,4	22,9	17,4
Nb	14,7	15,8	8,7
Ta	2,5	3	1,4
Sn	11	23	12
W	5,9	6,4	5,3
Ba	256	161	187
Sr	57,9	38,7	50
U	11,8	13,8	7,2
Hf	2,9	2,1	2,2
Zr	101,5	69,6	68,7
Y	9,5	5,2	6,9
As	4	3	5

Tabla 25. Análisis químicos de roca total de elementos mayores y traza de los tres posibles granitos parentales: (GRP) granito de dos micas de grano medio a grueso, (GRM) granito de dos micas de grano fino a medio y (GRT) granito de dos micas inhomogéneo. La concentración de los elementos mayores se expresa en % en peso del óxido y la de los elementos traza en ppm. Se muestran los índices A/CNK (=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO)) e ISA (=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)), expresados en % molar del óxido. LOI es la pérdida por calcinación, expresado en % en peso.

## Elementos traza

Los elementos traza con contenidos más destacables de los analizados en las pegmatitas se presentan en la tabla 24. El rubidio presenta concentraciones similares en los 5 cuerpos pegmatíticos de Panceiros, en torno a 400 ppm, sin embargo en la pegmatita de Presqueira su concentración es mayor, llegando a 999,5 ppm. El cesio tiene concentraciones comprendidas entre 11 y 22 ppm en las pegmatitas de Panceiros, mientras que en la pegmatita de Presqueira alcanza 59 ppm. Como se describió en el capítulo anterior ambos elementos se presenta como trazas en el feldespato potásico, albita y moscovita de las todas las pegmatitas estudiadas. La concentración de berilio es muy variable en las pegmatitas de Panceiros, donde toma valores desde 1 ppm a 95 ppm, y en la pegmatita de Presqueira la concentración es ligeramente superior alcanzado 145 ppm. Las concentraciones de Li son bajas y variables en las pegmatitas de Panceiros (24 a 97 ppm), y contrastan fuertemente con la concentración de este elemento en la pegmatita de Presqueira donde es el traza más abundante (> 2000 ppm). Esta alta concentración está justificada por la mineralogía descrita previamente en esta pegmatita con espodumena, amblygonita y petalita. Tanto el niobio como el tántalo presentan concentraciones bajas en las pegmatitas de Panceiros (15 - 27 ppm Nb y 3 - 16 ppm Ta) respecto a las que tienen en la pegmatita de Presqueira con 66,4 ppm de Nb y 64,4 ppm de Ta. Lo mismo sucede con el estaño, con concentraciones en las pegmatitas de Panceiros de 27-38 ppm y en la pegmatita de Presqueira llega a 845 ppm. Esto está claramente reflejado en la mineralogía de óxidos de Sn-Nb-Ta previamente descrita y encontrada únicamente en la pegmatita de Presqueira. La concentración de bario (de 3 ppm a 26 ppm), al igual que la de estroncio (de 6 ppm a 94 ppm), es baja y muy variable en estas pegmatitas. No obstante cabe destacar que la pegmatita de Presqueira tiene la concentración más baja en bario y más alta en Sr. En general, con el aumento del grado de diferenciación magmática, la concentración de bario y estroncio en las rocas ígneas tiende a decrecer. En base a esto si se considera el bario, la pegmatita de Presqueira estaría más diferenciada que las pegmatitas de Panceiros, sin embargo tiene un mayor contenido en estroncio contradiciendo lo anterior. Esta misma situación se ha observado en otras pegmatitas del mundo y Černý et al. (1985) señalan como causa de esta concentración elevada en estroncio que gran parte sea  $^{87}\text{Sr}$  de origen radiogénico a partir del rubidio relativamente abundante en estas rocas. Finalmente comentar que la concentración de arsénico es muy baja, especialmente en la pegmatita de Presqueira (2 ppm), pero presenta un valor anómalo en uno de los cuerpos de Panceiros de 593 ppm.

Las concentraciones en elementos traza analizados en los posibles granitos parentales se presentan en la tabla 25. En relación a los elementos traza comentados en las pegmatitas, se puede observar que, en general, en los granitos disminuye el contenido en elementos incompatibles como Be, Rb, Nb, Ta y Sn. Cabe destacar que los contenidos de los granitos en Cs están en el mismo rango que los de las pegmatitas de Panceiros, y en litio (119 ppm a 156,6 ppm) son superiores a los de éstas. Otros elementos como Zr, Hf, Y tienen contenidos claramente más altos en los granitos que en las pegmatitas, o bien, similares como es el caso del U o W. En cuanto a la concentración en Ba, esta es significativamente más alta en los

granitos (151 a 256 ppm) respecto a las pegmatitas, lo cual es coherente con que el origen de estas pegmatitas estaría en la diferenciación magmática a partir de alguno de estos posibles granitos parentales. Sin embargo, esto no se cumple para el Sr, con contenidos entre 38 y 57 ppm en los granitos, puesto que algunas de las pegmatitas tienen concentraciones similares pero también marcadamente superiores o inferiores, esto apoyaría la posibilidad de que gran parte del estroncio de las pegmatitas sea  $^{87}\text{Sr}$  de origen radiogénico propuesta previamente. Por último, el contenido en arsénico es inferior en los granitos que en las pegmatitas de Panceiros, pero similar al de la pegmatita de Presqueira

En el diagrama triangular Ba- Rb-Sr de El-Bouseily y El-Sokkary (1975) de la figura 55, los tres granitos se sitúan dentro del campo de los granitos fuertemente diferenciados y, por tanto, cualquiera de los tres podría ser el granito parental de las pegmatitas estudiadas. No obstante, el granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) sería es el más diferenciado.

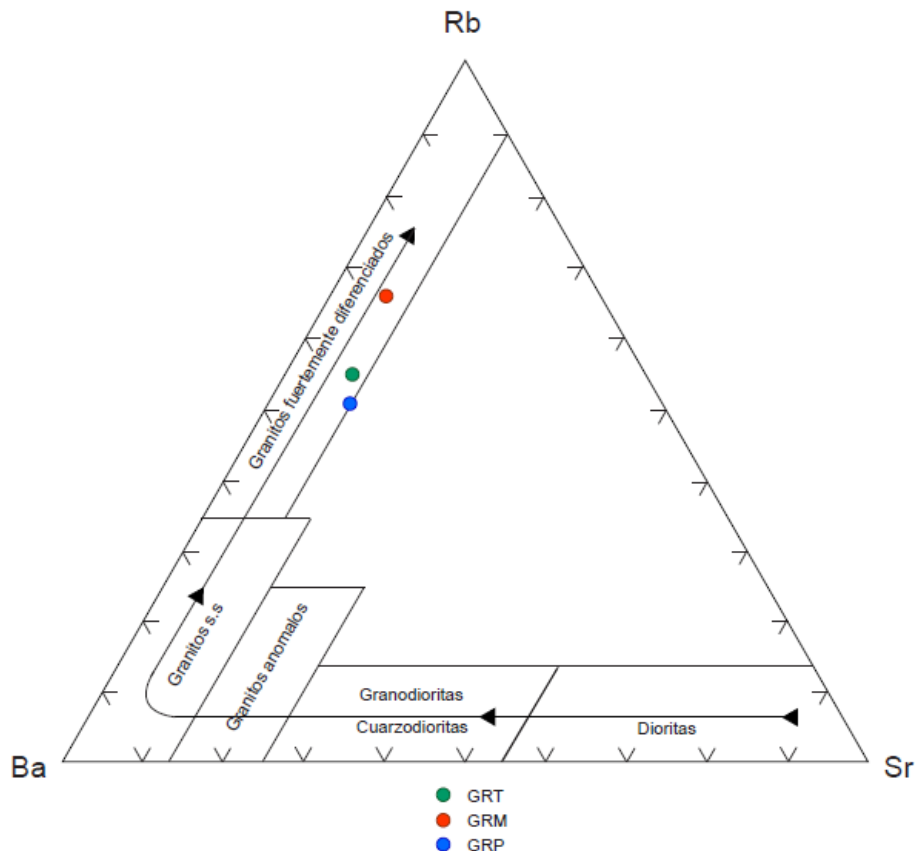


Figura 55. Diagrama triangular de El-Bouseily y El-Sokkary (1975), donde se proyectan las concentraciones de bario, estroncio y rubidio de los tres posibles granitos parentales: granito de dos micas de grano medio a grueso (GRP), granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) y el granito de dos micas inhomogéneo (GRT). El sentido de la flecha indica el aumento del grado de diferenciación.

En la tabla 26 se muestran datos de elementos traza indicadores de granitos que están relacionados con mineralizaciones de tántalo (“granitos fértiles”), basada en numerosos análisis de granitos fértiles de la antigua Unión Soviética, tomada de Beus y Sitnin (1968). Si

comparamos los datos representados en la tabla 26 con los datos de los granitos analizados para este trabajo (tabla 27), podemos observar que cualquiera de ellos podría ser granito parental de pegmatitas con Ta.

	Li	Rb	Sn	V	Mg/Li	Zr/Sr
Tipo de intrusión	<25 >100 ppm	<150 ppm	>20 ppm	>4 ppm	<30 >100 ppm	<30 >100 ppm
Parental de pegmatitas con Ta	<1% 41%	5%	26%	1%	39% 0.4%	93% 14%
Parental de pegmatitas pobres en Ta	26% 27%	24%	16%	1%	27% 30%	87% 5%
Granitos estériles	54% 2%	43%	1%	30%	0,1% 98%	7% 48%

Tabla 26. Indicadores geoquímicos de “granitos fértiles” generadores de yacimientos de tántalo en pegmatitas. Tomado de Beus y Sitnin (1968).

	Li	Rb	Sn	V	Mg/Li	Zr/Sr
GRT	156,6	384,3	11	-	0,001	1,8
GRM	225,5	404,3	23	-	0,001	1,8
GRP	119	250	12	-	0,001	1,4

Tabla 27. Concentraciones de los indicadores geoquímicos propuestos por Beus y Sitnin (1968) de la tabla 23 en los posibles granitos parentales de las pegmatitas estudiadas. (GRP) granito de dos micas de grano medio a grueso, (GRM) granito de dos micas de grano fino a medio y (GRT) granito de dos micas inhomogéneo. Concentración de los elementos en ppm. (-) valores por debajo del límite de detección.

## Tierras raras

Los contenidos en tierras raras de los posibles granitos parentales y de las pegmatitas estudiadas se muestran en la tablas 28. En la figura 56 se presenta el diagrama Spider de tierras raras (REE) normalizado al condrito (Taylor y McLennan, 1985) de todas estas rocas y los datos en la tabla 29. El patrón de REE de los tres granitos es similar: están enriquecidos en tierras raras ligeras (LREE) frente a las tierras raras pesadas (HREE) con una relación La/Lu entre 20 y 47 (tabla 29). Los tres presentan anomalía negativa con Eu/E\* entre 0,22 y 0,41. Cabe señalar que la anomalía negativa de europio más marcada (Eu/E\* = 0,22) es la del granito de dos micas de grano fino a medio (GRM), indicando un mayor grado de diferenciación magmática. Las pegmatitas tienen contenidos en tierras raras muy bajos, de hecho presentan patrones incompletos (figura 56), salvo dos pegmatitas del campo de Panceiros (PAN-2 y PAN-4), ya que muchos de estos elementos tienen contenidos por debajo de los límites de detección de los análisis. La pegmatita de Presqueira tiene la concentración

más baja en tierras raras de todas las estudiadas. Comparando estos patrones con los de los granitos, se ve que son muy variables y tienen menor pendiente con La/Lu entre 1,8 y 11. Por otro lado, en las dos pegmatitas de Panceiros con concentraciones medibles de europio, la anomalía es muy diferente desde distinguible, aunque menor que en los granitos en una ( $Eu/E^* = 0,42$ ), a casi inexistente en la otra ( $Eu/E^* = 0,94$ ).

En base a datos de tierras raras en pegmatitas de todo el mundo, Černý (1997) indica que es característico de los sistemas LCT un marcado salto en el contenido en tierras raras del granito parental a las pegmatitas, incluso con las pegmatitas menos evolucionadas. También que los patrones de tierras raras de las pegmatitas son más horizontales o ligeramente enriquecidos en tierras raras intermedias (MREE) y que la anomalía de europio puede o no estar presente. Estas características parece que se cumplen en el caso de las pegmatitas estudiadas. Por otro lado, es destacable la gran irregularidad de los patrones en las pegmatitas estudiadas, esto ha sido documentado por varios autores (ej.: Pan, Y., 1997; Canosa et al., 2012) en leucogranitos muy diferenciados y pegmatitas. Una explicación propuesta es que este tipo de patrón sea el resultado de alteraciones posteriores. En las pegmatitas estudiadas, estas alteraciones posteriores a la etapa principal de cristalización magmática podrían relacionarse con albitización y/o la formación de las paragénesis de fosfatos que reemplazan a los silicatos primarios descrito en el capítulo previo.

REE (ppm)	PAN-1	PAN-2	PAN-3	PAN-4	PAN-5	PR	GRT	GRM	GRP
La	1,10	1,20	0,60	0,70	0,80	0,40	22,40	13,70	13,80
Ce	1,30	1,60	1,10	1,60	1,30	0,60	46,20	29,30	28,20
Pr	0,14	0,30	0,12	0,15	0,13	0,06	5,59	3,43	3,54
Nd	0,50	1,00	-	1,00	0,50	-	21,30	12,10	13,30
Sm	0,16	0,19	0,35	0,26	0,12	0,15	4,72	2,96	3,08
Eu	-	0,08	-	0,03	-	-	0,35	0,19	0,37
Gd	0,25	0,35	0,19	0,18	0,17	0,07	3,62	2,23	2,43
Tb	0,05	0,07	0,04	0,07	0,04	0,04	0,51	0,32	0,37
Dy	0,26	0,41	0,28	0,45	0,27	0,08	1,82	1,40	1,79
Ho	0,03	0,09	0,05	0,06	0,08	-	0,30	0,20	0,29
Er	0,10	0,16	0,11	0,18	0,15	0,03	0,83	0,48	0,66
Tm	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	-	0,10	0,04	0,08
Yb	0,15	0,20	0,10	0,28	0,19	-	0,68	0,41	0,45
Lu	0,01	0,03	0,02	0,04	0,02	-	0,07	0,03	0,07

Tabla 28. Contenidos en tierras raras de los cuerpos pegmatíticos de panceiros (PAN), de la pegmatita de presqueira (PR) y de los posibles granitos parentales, granito de dos micas de grano medio a grueso (GRP), granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) y granito de dos micas inhomogéneo (GRT). (-) valores por debajo del límite de detección.



Condroito (Taylor y McLennan, 1985)	PAN-1	PAN-2	PAN-3	PAN-4	PAN-5	PR	GRT	GRM	GRP
0,367 La	2,997	3,270	1,635	1,907	2,180	1,090	61,035	37,330	37,602
0,957 Ce	1,358	1,672	1,149	1,672	1,358	0,627	48,276	30,617	29,467
0,137 Pr	1,022	2,190	0,876	1,095	0,949	0,438	40,803	25,036	25,839
0,711 Nd	0,703	1,406	-	1,406	0,703	-	29,958	17,018	18,706
0,231 Sm	0,693	0,823	1,515	1,126	0,519	0,649	20,433	12,814	13,333
0,087 Eu	-	0,920	-	0,345	-	-	4,023	2,184	4,253
0,306 Gd	0,817	1,144	0,621	0,588	0,556	0,229	11,830	7,288	7,941
0,058 Tb	0,862	1,207	0,690	1,207	0,690	0,690	8,793	5,517	6,379
0,381 Dy	0,682	1,076	0,735	1,181	0,709	0,210	4,777	3,675	4,698
0,085 Ho	0,353	1,058	0,588	0,705	0,940	-	3,525	2,350	3,408
0,249 Er	0,402	0,643	0,442	0,723	0,602	0,120	3,333	1,928	2,651
0,036 Tm	0,281	0,843	0,281	0,562	0,562	-	2,809	1,124	2,247
0,248 Yb	0,605	0,806	0,403	1,129	0,766	-	2,742	1,653	1,815
0,038 Lu	0,262	0,787	0,525	1,050	0,525	-	1,837	0,787	1,837
La/Lu	11,420	4,153	3,114	1,817	4,153	-	33,221	47,409	20,466
Eu/Eu*	-	0,948	-	0,424	-	-	0,259	0,226	0,413

Tabla 29. Contenidos en tierras raras normalizadas al condrito (Taylor y McLennan, 1985) de los cuerpos pegmatíticos de Panceiros (PAN), de la pegmatita de Presqueira (PR) y de los posibles granitos parentales, granito de dos micas de grano medio a grueso (GRP), granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) y granito de dos micas inhomogéneo (GRT). Se presenta la relación La/Lu y Eu/\*Eu, donde \*Eu =  $Eu/\sqrt{(Sm \cdot Gd)}$ . (-) valores por debajo del límite de detección.

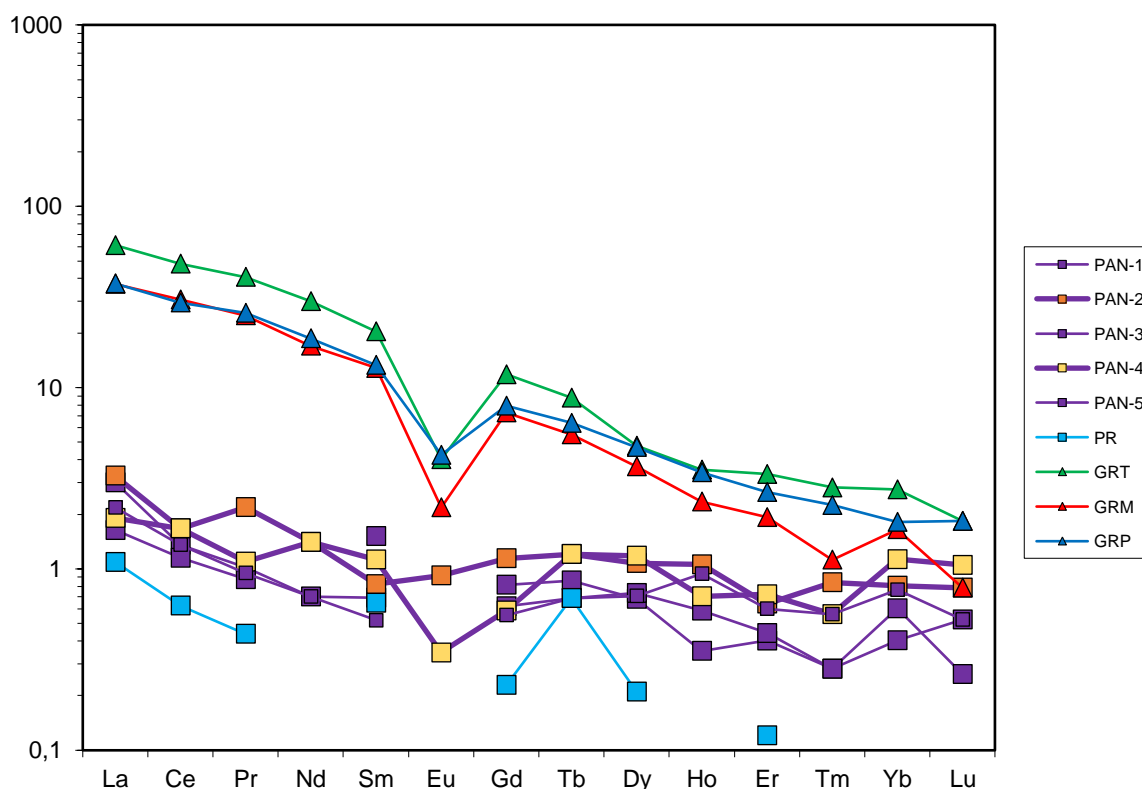


Figura 56 Patrones de tierras raras de los cuerpos pegmatíticos de panceiros (PAN), de la pegmatita de Presqueira (PR) y de los posibles granitos parentales: granito de dos micas de grano medio a grueso (GRP), granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) y granito de dos micas inhomogéneo (GRT).

### Movilidad de elementos mayores y traza en la alteración del encajante

Con el objetivo de identificar y cuantificar la posible movilidad de elementos en los halos de alteración de estas pegmatitas se utilizaron los análisis geoquímicos de los metasedimentos (tablas 30 y 31) de zonas alejadas de las pegmatitas, representarían el “encajante no alterado o protolito”, y del halo de alteración “encajante alterado”. Las muestras ESQ-C y ESQ-4 son “encajante alterado” y ESQ-P es protolito que corresponde al Grupo Santa Baia, encajante de las pegmatitas de Panceiros. Las muestras analizadas correspondientes a la roca encajante de la pegmatita de Presqueira (Grupo Paraño) son: ESQ-PA y ESQ-S (protolito) y ESQ-PR (“encajante alterado”).

Para cuantificar la movilidad de elementos durante la alteración se hicieron los cálculos de “transferencia de masa” utilizando el método de MacLean y Barret (1993). En primer lugar, para aplicar cualquier método de transferencia de masa es necesario identificar que elementos se comportaron como inmóviles durante la alteración. Esto se llevó a cabo mediante gráficos de dispersión (figuras 57 y 58) donde se representó la concentración, tanto en el protolito como en el encajante alterado, de pares de elementos que suelen comportarse como inmóviles (ej: Al, Ti, Zr, Nb e Y). Los elementos que se hayan comportado como inmóviles deben tener que dar en estos diagramas coeficientes de correlación  $R^2 > 0.85$  (con una línea de correlación cuyo origen es 0,0). En el caso estudiado más de un elemento daba correlaciones aceptables tanto en el encajante de las pegmatitas de Panceiros (Grupo Santa Baia) como en el de la Pegmatita de Presqueira (Grupo Paraño). En el primer caso eran Ti y Zr (figura 57) y en el segundo caso eran Al e Y (figura 58). En base a esto, se calculó el porcentaje de variación de la concentración en elementos mayores y trazas del encajante alterado respecto al protolito mediante la fórmula:

$$\Delta a = (I_p / I_a \cdot C_a) - C_p$$

donde,  $I_p$  es la concentración del inmóvil en el protolito,  $I_a$  es la concentración del inmóvil en la roca alterada,  $C_a$  es la concentración de elemento móvil en la roca alterada y  $C_p$  es la concentración del elemento móvil en el protolito.

Con el fin de comparar los resultados, las variaciones de concentración ( $\Delta a$ ) se calcularon con cada uno de los inmóviles identificados:

- con Ti y con Zr para el encajante de las pegmatitas de Panceiros (tablas 32 y 33)
- con Al y con Y para el encajante de la pegmatita de Presqueira (tablas 34 y 35)

En cada encajante, los valores  $\Delta a$  son prácticamente idénticos corroborando que los dos elementos se han comportado como inmóviles y que puede usarse uno u otro indistintamente para los cálculos.

Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 32, 33, 34 y 35, y en las figuras 59, 60, 61 y 62. En estas figuras se ha añadido además el cambio de masa global que han sufrido los encajantes durante la alteración.

A la vista de los resultados se puede concluir que en el campo pegmatítico de Panceiros, los metasedimentos en los halos de alteración sufren una ganancia de masa debido, principalmente, a la adición de  $\text{SiO}_2$  y, una pequeña proporción de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{K}_2\text{O}$  (tabla 32, figuras 59 y 60). La neoformación en el encajante alterado de cuarzo y moscovita podría explicarlo. Por el contrario en los halos de alteración de la pegmatita de Presqueira los metasedimentos encajantes experimentan una importante pérdida de masa por lixiviado de  $\text{SiO}_2$ , y una pequeña adición de  $\text{MgO}$  (tabla 34, figura 61). Esta notable pérdida de  $\text{SiO}_2$  en el halo de alteración es difícil de justificar y no se refleja claramente en la mineralogía, podría ser un resultado erróneo debido al bajo número de muestras del protolito usadas en los cálculos o, por el contrario, ser una característica de las zonas de alteración en este tipo de pegmatita. Incluso podría estar relacionado con la lixiviación de sílice en relación a la cizalla que afecta a estas rocas. Claramente, estudios futuros en este sentido serían deseables.

En cuanto a los elementos traza se evidencia que tanto en las pegmatitas de Panceiros como en la de Presqueira en los halos de alteración del encajante hay un aporte de Cs, Rb, Li y Sn (tablas 33 y 35, figura 59 y 61). Cabe mencionar que litio y estaño son añadidos, aunque en menor proporción, incluso en las pegmatitas de Panceiros que no tienen altos contenidos en estos elementos ni mineralización portadora de ellos (ej: espodumena, fosfatos de litio, casiterita). Por supuesto, a estos elementos hay que añadir el boro, difícilmente analizable, cuyo aporte queda registrado por la neoformación de abundante turmalina en los halos de alteración de todas estas pegmatitas.

	Elementos mayores (% en peso)											Total	LOI
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
ESQ-C	62,36	18,78	6,53	1,81	0,08	0,48	6,04	0,74	0,07	0,08	0,014	99,76	2,8
ESQ-4	61,42	19,42	6,63	1,87	0,44	0,56	5,29	0,74	0,37	0,09	0,015	99,77	2,9
ESQ-P	58,01	21,24	7,26	1,9	0,03	0,36	4,4	0,91	0,07	0,08	0,016	99,78	5,5
ESQ-PR	53,27	23,2	9,01	2,59	0,12	0,61	6,12	0,92	0,09	0,15	0,017	99,72	3,6
ESQ-PA	62,73	18,99	7,11	0,63	-	0,31	4,14	0,82	0,08	0,07	0,014	99,80	4,9
ESQ-S	58,84	20,97	7,59	1,65	0,01	0,41	4,84	0,75	0,08	0,23	0,014	99,78	4,4

Tabla30. Composición en elementos mayores de los metasedimentos del encajante de las pegmatitas estudiadas. Encajante de las pegmatitas de Panceiros (Grupo Santa Baia): ESQ-C, ESQ-4 “encajante alterado”, ESQ-P “protolito”. Encajante de la pegmatita de Presqueira (Grupo Paraño): ESQ-PA, ESQ-S “protolito”, ESQ-PR (“encajante alterado”).

	Elementos trazas (ppm)																Li
	Ba	Be	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	
ESQ-C	512	29	313	23,3	5,3	17,6	883,8	117	32,4	3,1	12,7	4,3	89	8,3	180,3	19,6	585,4
ESQ-4	620	29	80,5	21,2	4,5	18	568,5	59	66,3	5	12,9	4,6	98	6,9	176,5	21,3	502,7
ESQ-P	750	2	10,8	23,1	5,9	15,9	189,4	5	50,6	1,3	15,6	3,3	107	2,8	218,6	22,6	230,7
ESQ-PR	834	2	195,9	29,3	3,3	16,6	665,1	102	80,7	1,2	18,2	3,4	139	7,8	122,1	27,1	1365,3
ESQ-PA	609	3	14,3	22,1	5,6	15	182,5	3	60,7	1,1	15,4	3,8	99	3,5	192,1	21,7	64,5
ESQ-S	755	2	14,2	26,4	3,2	13,9	221,1	4	70,4	1,3	16	2,7	112	1,9	117,7	26,2	93,6

Tabla 31. Composición en los elementos traza de los metasedimentos del encajante de las pegmatitas estudiadas. Encajante de las pegmatitas de Panceiros (Grupo Santa Baia): ESQ-C, ESQ-4 “encajante alterado”, ESQ-P “protolito”. Encajante de la pegmatita de Presqueira (Grupo Paraño): ESQ-PA, ESQ-S “protolito”, ESQ-PR (“encajante alterado”).

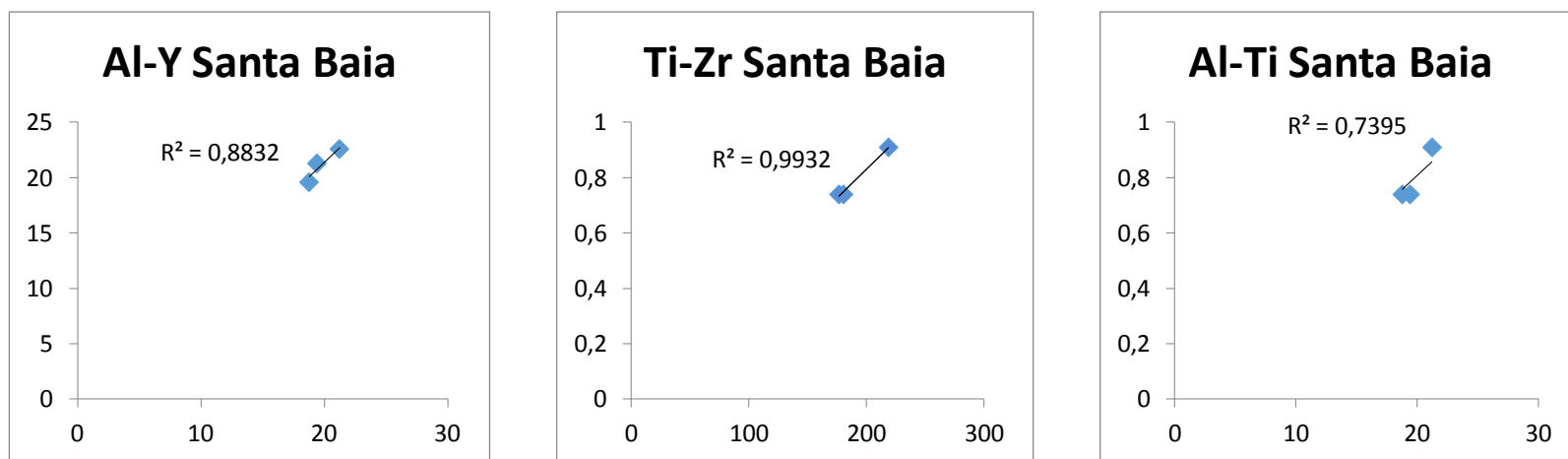


Figura 57. Selección representativa de los gráficos de dispersión que enfrentan la concentración de posibles elementos inmóviles en el “encajante alterado” y el “protolito” en el caso de las pegmatitas de Panceiros. Se presenta la línea de correlación con origen en (0,0) y su  $R^2$ .

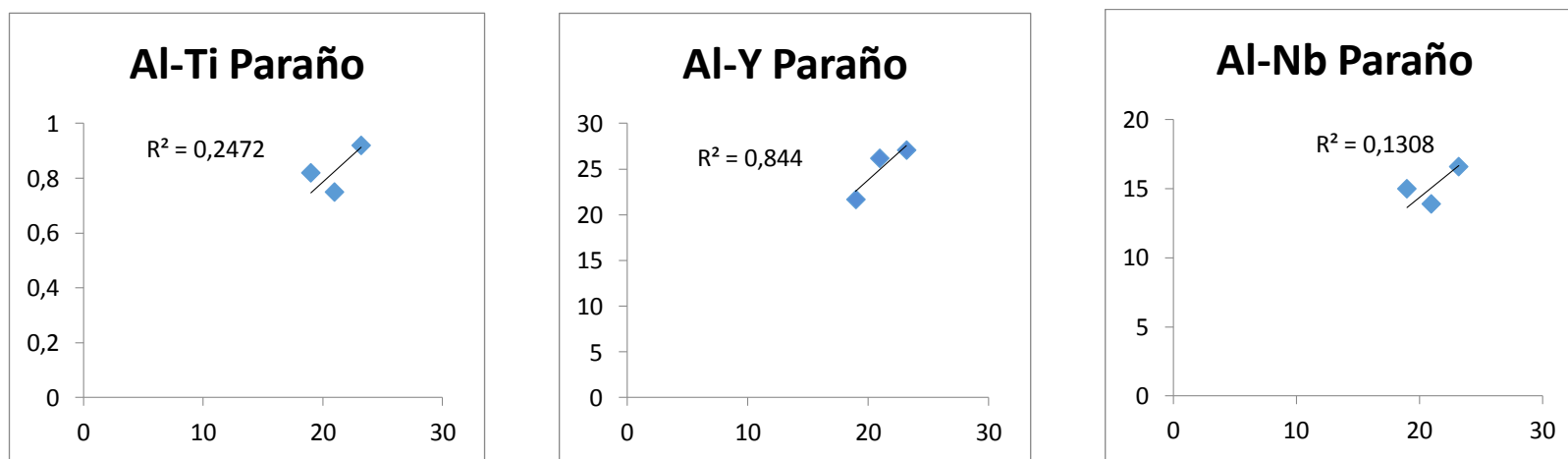


Figura 58. Selección representativa de los gráficos de dispersión que enfrentan la concentración de posibles elementos inmóviles en el “encajante alterado” y el “protolito” en el caso de las pegmatita de Presqueira. Se presenta la línea de correlación con origen en (0,0) y su  $R^2$ .



		Porcentaje de ganancia o pérdida (%)											Δ masa total
Inmóvil usado		Δ SiO <sub>2</sub>	Δ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Δ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Δ MgO	Δ CaO	Δ Na <sub>2</sub> O	Δ K <sub>2</sub> O	Δ TiO <sub>2</sub>	Δ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Δ MnO	Δ Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Ti	ESQ-C	18,68	1,85	0,77	0,33	0,07	0,23	3,03	0,00	0,02	0,02	0,00	24,99
	ESQ-4	17,52	2,64	0,89	0,40	0,51	0,33	2,11	0,00	0,39	0,03	0,00	24,82
Zr	ESQ-C	17,60	1,53	0,66	0,29	0,07	0,22	2,92	-0,01	0,01	0,02	0,00	23,31
	ESQ-4	18,06	2,81	0,95	0,42	0,51	0,33	2,15	0,01	0,39	0,03	0,00	25,67

Tabla 32. Valores en porcentaje de la transferencia de masa en los elementos mayores y la global de los halos de alteración del encajante de las pegmatitas de Panceiros. Los valores positivos indican adición del elemento y los negativos lixiviación del elemento

		Porcentaje de ganancia o pérdida (%)																
Inmóvil usado		Δ Ba	Δ Be	Δ Cs	Δ Ga	Δ Hf	Δ Nb	Δ Rb	Δ Sn	Δ Sr	Δ Ta	Δ Th	Δ U	Δ V	Δ W	Δ Zr	Δ Y	Δ Li
Ti	ESQ-C	-0,0120	0,0034	0,0374	0,0006	0,0001	0,0006	0,0897	0,0139	-0,0011	0,0003	0,0000	0,0002	0,0002	0,0007	0,0003	0,0002	0,0489
	ESQ-4	0,0012	0,0034	0,0088	0,0003	0,0000	0,0006	0,0510	0,0068	0,0031	0,0005	0,0000	0,0002	0,0014	0,0006	-0,0002	0,0004	0,0387
Zr	ESQ-C	-0,0129	0,0033	0,0369	0,0005	0,0001	0,0005	0,0882	0,0137	-0,0011	0,0002	0,0000	0,0002	0,0001	0,0007	0,0000	0,0001	0,0479
	ESQ-4	0,0018	0,0034	0,0089	0,0003	0,0000	0,0006	0,0515	0,0068	0,0032	0,0005	0,0000	0,0002	0,0014	0,0006	0,0000	0,0004	0,0392

Tabla 33. Valores en porcentaje de la transferencia de masa en los elementos traza de los halos de alteración del encajante de las pegmatitas de Panceiros. Los valores positivos indican adición del elemento y los negativos lixiviación del elemento

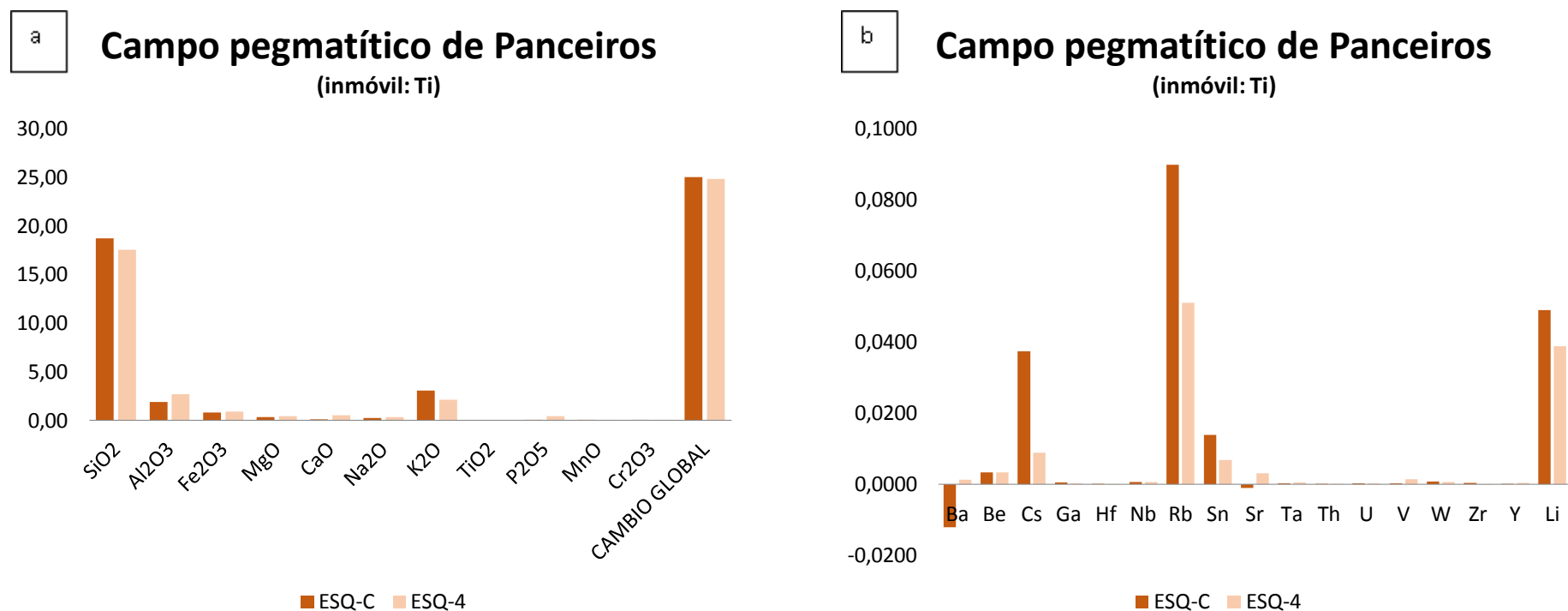


Figura 59. Diagramas de barras donde se representan los cambios de masa de elementos mayores (a) y de los elementos traza (b) de dos muestras de los halos de alteración del encajante de las pegmatitas de Panceiros. Las barras superiores indican adición del elemento, las barras inferiores indican lixiviado del elemento. Calculado según el método de MacLean y Barret (1993) con Ti como inmóvil.

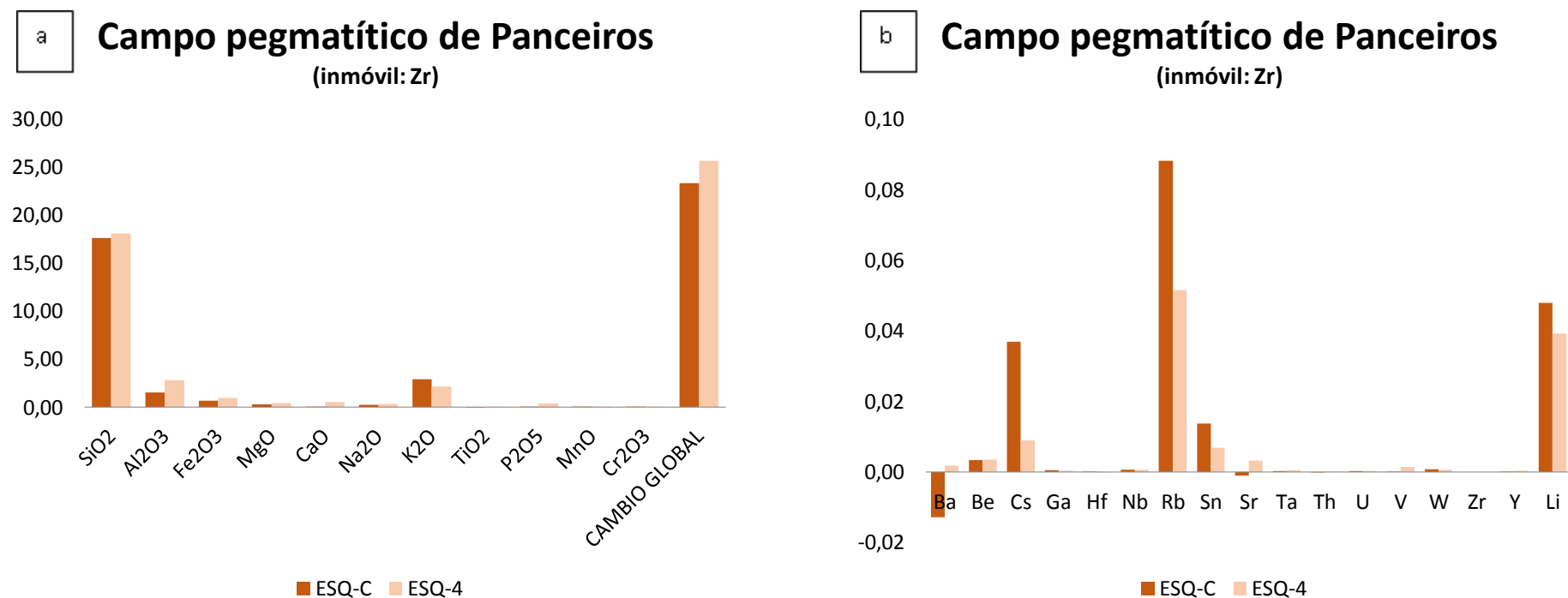


Figura 60. Diagramas de barras donde se representan los cambios de masa de elementos mayores (a) y de los elementos traza (b) de dos muestras de los halos de alteración del encajante de las pegmatitas de Panceiros. Las barras superiores indican adición del elemento, las barras inferiores indican lixiviado del elemento. Calculado según el método de MacLean y Barret (1993) con Zr como inmóvil.

		Porcentaje de ganancia o pérdida (%)											<b>Δ masa total</b>
Inmóvil usado		Δ SiO <sub>2</sub>	Δ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Δ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Δ MgO	Δ CaO	Δ Na <sub>2</sub> O	Δ K <sub>2</sub> O	Δ TiO <sub>2</sub>	Δ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Δ MnO	Δ Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Al	ESQ-PR	-14,93	0,00	0,40	1,21	0,09	0,17	0,79	0,01	0,00	0,00	0,00	-12,27
Y	ESQ-PR	-13,88	0,46	0,58	1,26	0,10	0,18	0,91	0,03	0,00	0,01	0,00	-10,37

Tabla 34. Valores en porcentaje de la transferencia de masa en los elementos mayores y la global de los halos de alteración del encajante de la pegmatita de Presqueira. Los valores positivos indican adición del elemento y los negativos lixiviación del elemento

		Porcentaje de ganancia o pérdida (%)																
Inmóvil usado		Δ Ba	Δ Be	Δ Cs	Δ Ga	Δ Hf	Δ Nb	Δ Rb	Δ Sn	Δ Sr	Δ Ta	Δ Th	Δ U	Δ V	Δ W	Δ Zr	Δ Y	Δ Li
Al	ESQ-PR	0,0039	-0,0001	0,0154	0,0002	-0,0001	0,0000	0,0371	0,0084	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0004	-0,0045	-0,0001	0,1097
Y	ESQ-PR	0,0056	-0,0001	0,0158	0,0002	-0,0001	0,0000	0,0384	0,0086	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0017	0,0004	-0,0043	0,0000	0,1124

Tabla 35. Valores en porcentaje de la transferencia de masa en elementos traza del encajante de la pegmatita de Presqueira. Los valores positivos indican adición del elemento y los negativos lixiviación del elemento

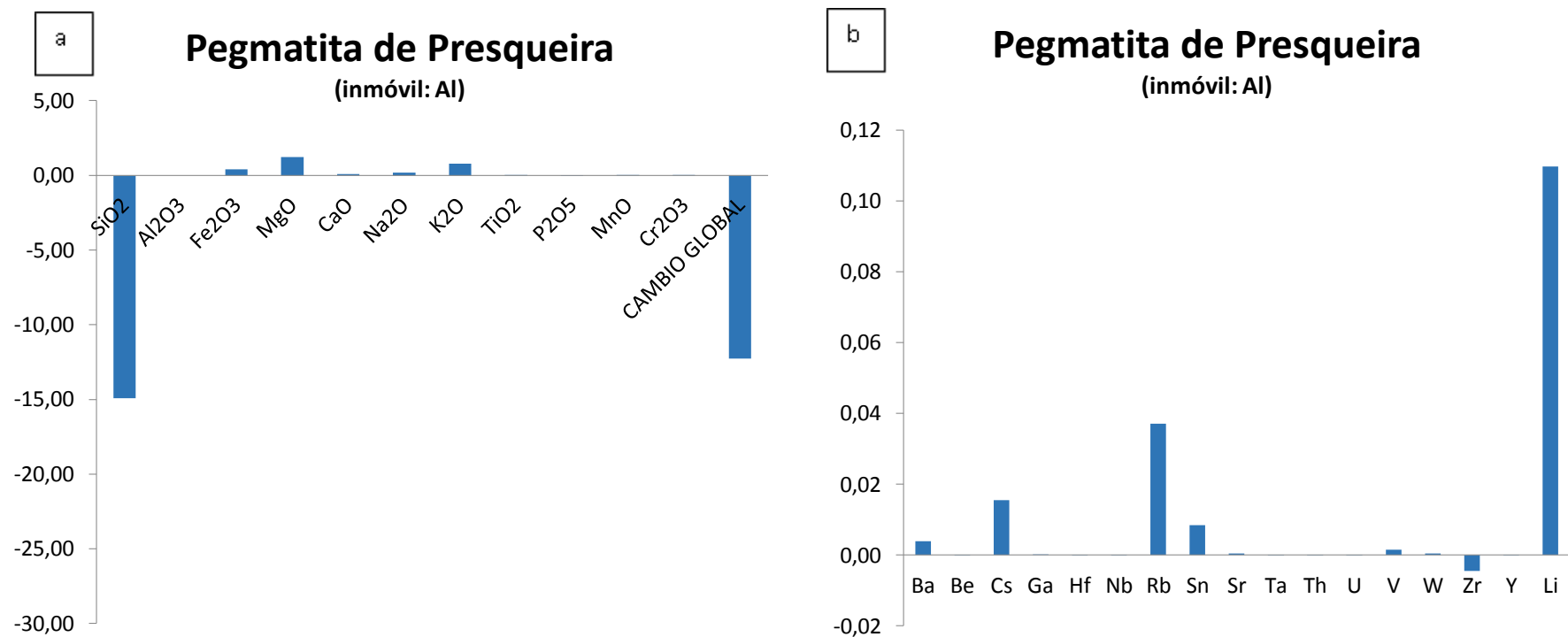


Figura 61. Diagramas de barras donde se representan los cambios de masa de elementos mayores (a) y de los elementos traza (b) de dos muestras de los halos de alteración del encajante de la pegmatita de Presqueira. Las barras superiores indican adición del elemento, las barras inferiores indican lixiviado del elemento. Calculado según el método de MacLean y Barret (1993) con Al como inmóvil.



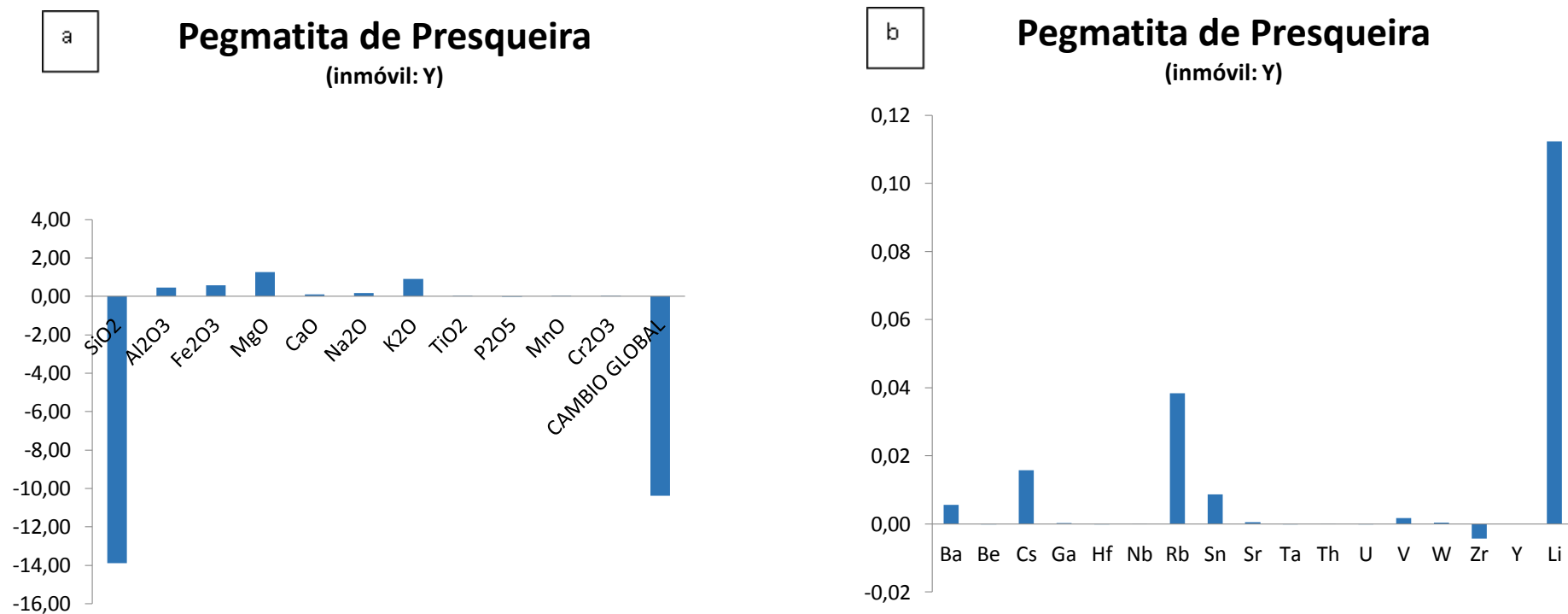


Figura 62. Diagramas de barras donde se representan los cambios de masa de elementos mayores (a) y de los elementos traza (b) de dos muestras de los halos de alteración del encajante de la pegmatita de Presqueira. Las barras superiores indican adición del elemento, las barras inferiores indican lixiviado del elemento. Calculado según el método de MacLean y Barret (1993) con Y como inmóvil.

## GEOQUÍMICA MINERAL

Varios autores (ej.: Trueman y Černý, 1982; Shearer et al., 1992; Smeds 1992; Černý 1992) proponen que el enriquecimiento en determinados elementos traza como Rb, Cs Li, Sn, Zn, Be, Nb y Ta en feldespato potásico y moscovita es indicativo del grado de fraccionamiento de la pegmatita en la que aparecen y, también pueden poner en evidencia la existencia de relaciones genéticas entre grupos de pegmatitas pudiendo de este modo definir un campo pegmatítico. Černý et al., (1981) demostraron la utilidad de las proporciones K/Rb en feldespatos potásicos y micas como índices del fraccionamiento químico entre y dentro de granitos y pegmatitas. Por otro lado, la composición de determinados minerales, como el granate, puede aportar información a la hora de clasificar el tipo de pegmatita en la que aparecen.

Considerando todo lo anterior, a continuación se describe el estudio de geoquímica mineral que se hizo en feldespato potásico, moscovita y granate en las pegmatitas objeto de este trabajo fin de máster.

### **Feldespato potásico**

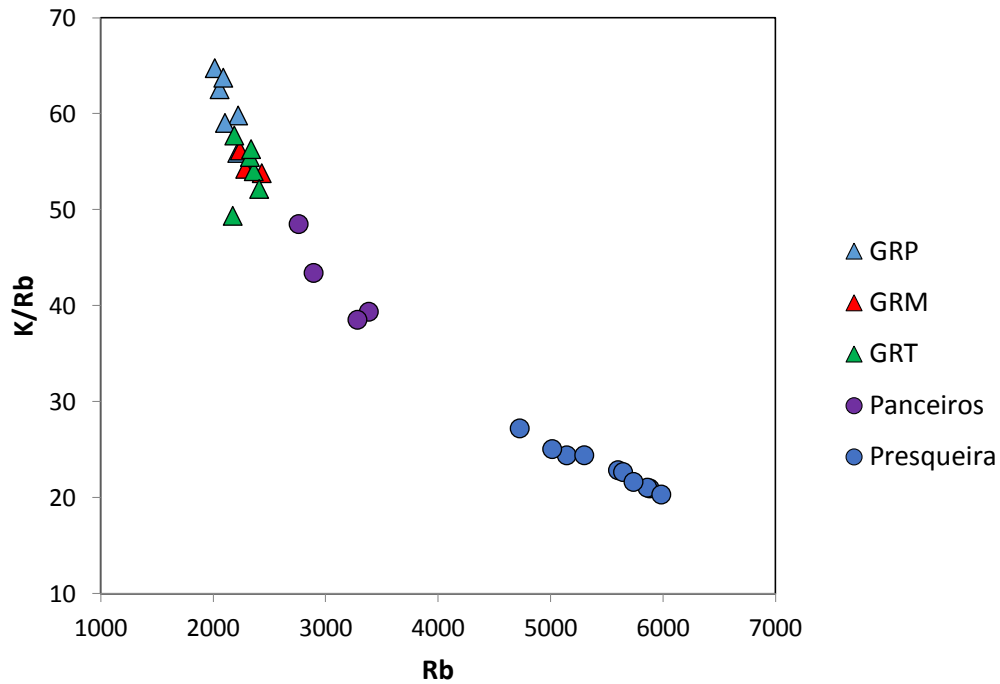
Las concentraciones en rubidio y cesio, así como los contenidos en potasio, en los feldespatos potásicos de las pegmatitas de Panceiros y la pegmatita de Presqueira están recogidos en las tabla 2 y tabla 11, respectivamente, del capítulo previo. Como estos elementos son buenos indicadores de las relaciones genéticas entre los distintos cuerpos de pegmatitas se han realizado una serie de gráficos que enfrentan el rubidio a la relación K/Rb (figura 63), el cesio frente a la relación K/Cs (figura 64).

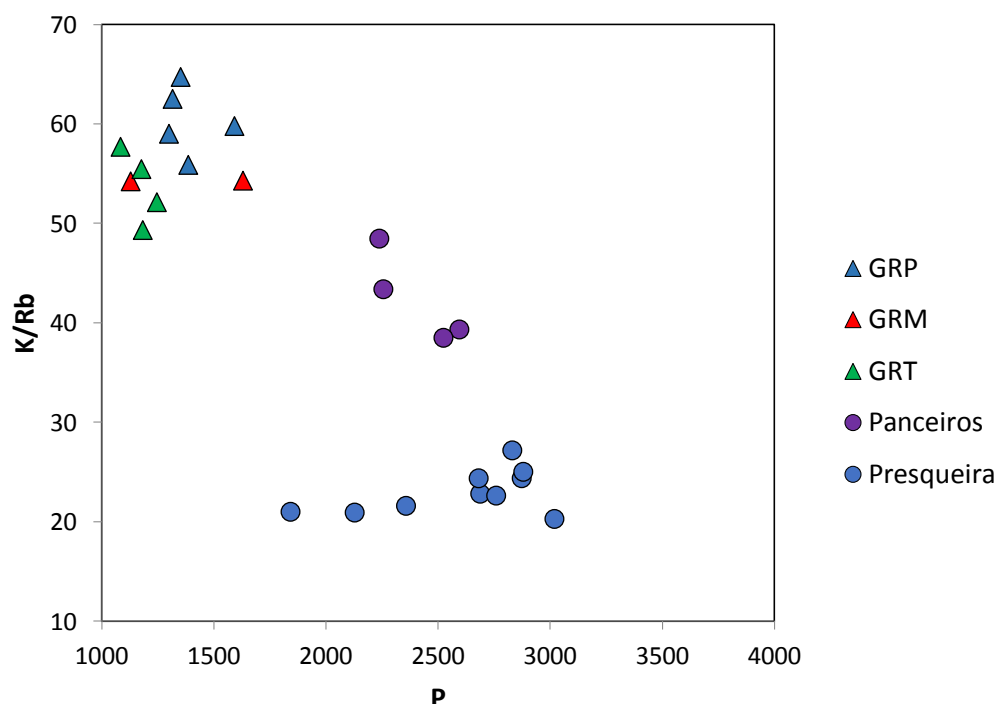
Tanto en la figura 63 como en la figura 64 se observa que los feldespatos potásicos de la pegmatita de Presqueira presentan los mayores valores en Rb y Cs y los menores en la relación K/Rb y K/Cs, respectivamente. Por tanto, la pegmatita de Presqueira ha alcanzado un grado de diferenciación mayor que las pegmatitas de Panceiros. Por otra parte, en el gráfico de la figura 63 se observa que los cuerpos pegmatíticos de Panceiros forman una tendencia bien definida, con lo que podemos decir que están relacionados genéticamente y constituirían un campo pegmatítico en sentido estricto. En este sentido, en el gráfico de la figura 64 no se define esta tendencia en las pegmatitas de Panceiros, una posible explicación sería el tener menos datos ya que el Cs no siempre está presente en los feldespatos potásicos de estos cuerpos.

Respecto a los posibles granitos parentales, se observa como los datos se solapan en ambos gráficos (figura 63 y 64), aunque el granito de dos micas de grano medio a grueso (GRP) parece ser el menos diferenciado de los tres.

Como el fósforo es también una traza importante en estas pegmatitas, tal y como se describió en el capítulo previo, se ha enfrentado a la relación K/Rb a fin de comprobar si existe alguna tendencia o relación con el grado de diferenciación (figura 65). Aunque no

definen una tendencia clara, si se observa que los feldespatos potásicos de las pegmatitas tienen contenidos más altos en fósforo que los de los posibles granitos parentales.





medio (GRM) es la que alcanza los valores más altos en Rb y Cs, y la relación más baja de K/Rb y K/Cs, respectivamente. Esto sugiere que este sería el granito más diferenciado como ya se ha comentado más veces a lo largo de este estudio geoquímico.

Ya que el flúor es también una traza importante en estas pegmatitas, tal y como se describió en el capítulo previo, se ha enfrentado a la relación K/Rb a fin de observar su relación con el grado de diferenciación y algún tipo de tendencia (figura 68). No se observa ninguna tendencia clara. Cabe mencionar el contenido notablemente inferior en flúor en la moscovita de la pegmatita de Presqueira frente, tanto a la de las pegmatitas de Panceiros como a la de algunos de los posibles granitos parentales.

Černý et al. (1981), recopilando datos de composición de moscovitas en pegmatitas de todo el mundo, en función de la relación Cs frente a K/Rb de la moscovita, define una serie de campos composicionales que son característicos de clases pegmatíticas. Este diagrama se muestra en la figura 69, en él se han proyectado los datos de las pegmatitas de Panceiros y Presqueira. Parte de las moscovitas de las pegmatitas de Panceiros y la pegmatita de Presqueira caen dentro, o muy próximas, al campo que delimita la clase de elementos escasos (REC). La causa de que gran parte de los datos se proyecten fuera de los campos definidos por este autor, sobre todo en el caso de las pegmatitas de Panceiros, puede ser debido a una concentración inusual de estos elementos en estas moscovitas, o bien, estar relacionado con diferencias en la cuantificación de estos elementos con las técnicas analíticas usadas.

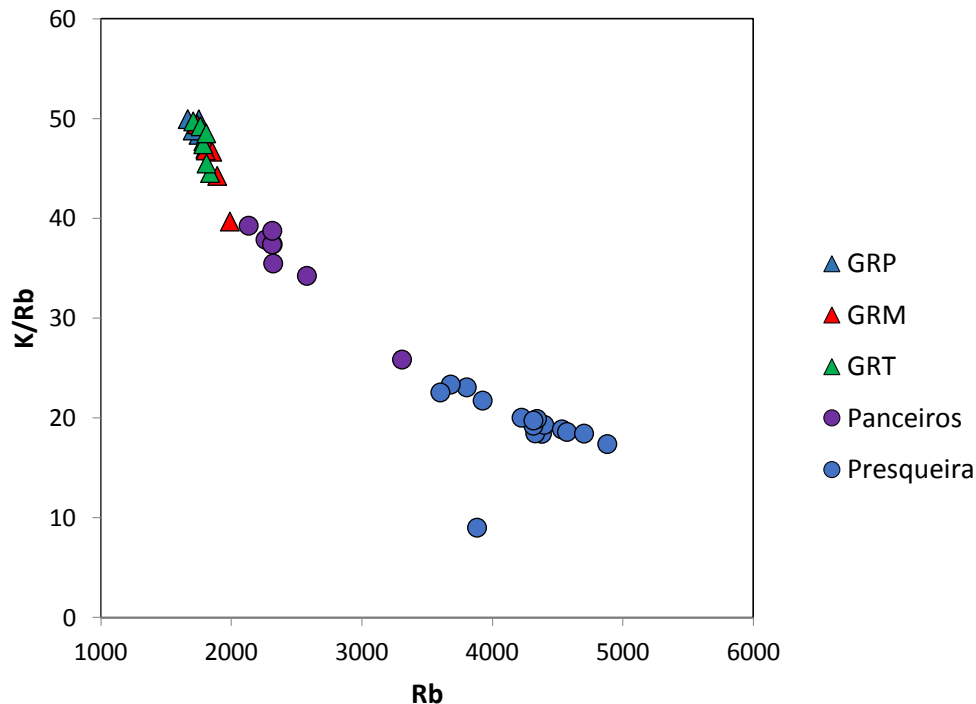


Figura 66. Contenido en Rb (ppm) frente a la relación K/Rb en moscovitas de los cuerpos pegmatíticos de Panceiros, la pegmatita de Presqueira y los tres posibles granitos parentales: granito de dos micas de grano medio a grueso (GRP), granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) y el granito de dos micas inhomogéneo (GRT)



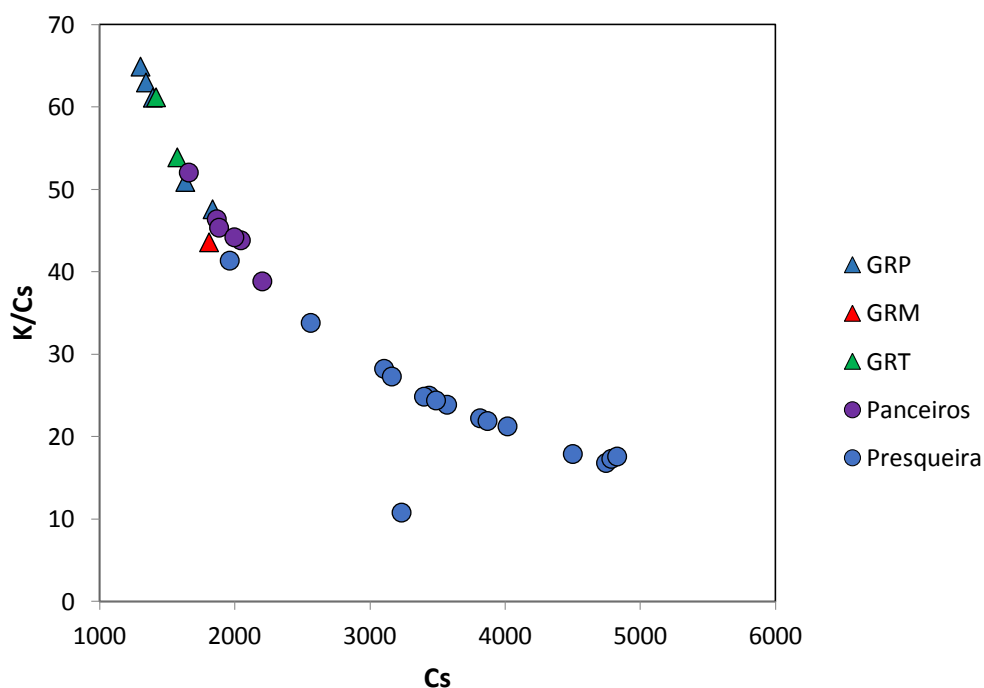


Figura 67. Contenido en Cs (ppm) frente a la relación K/Cs en moscovitas de los cuerpos pegmatíticos de Panceiros, la pegmatita de Presqueira y los tres posibles granitos parentales: granito de dos micas de grano medio a grueso (GRP), granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) y el granito de dos micas inhomogéneo (GRT)

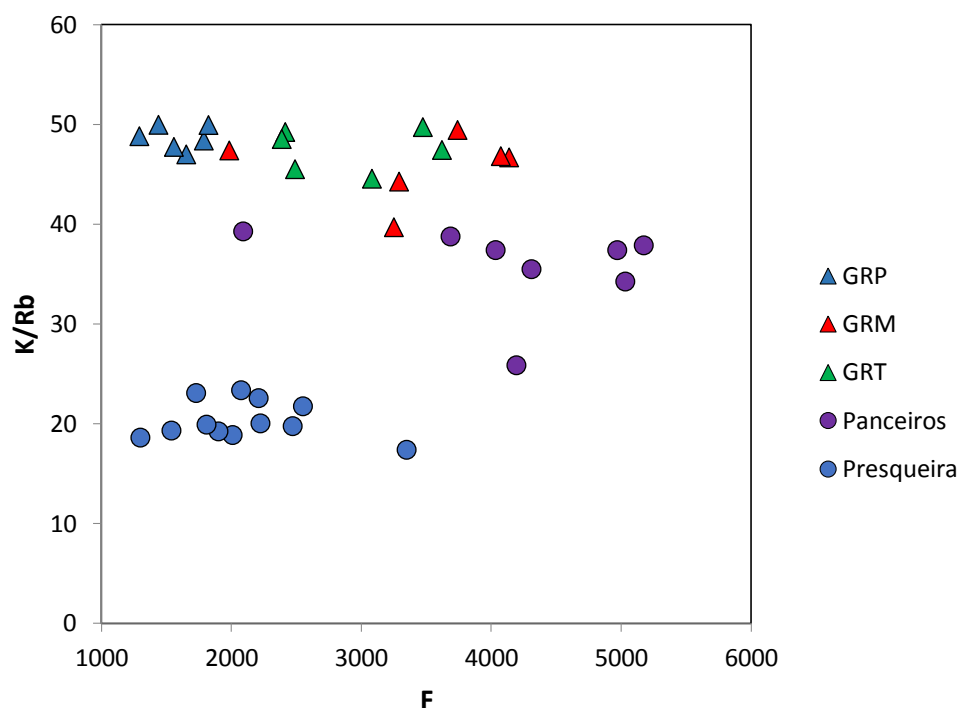


Figura 68. Contenido en F (ppm) frente a la relación K/Rb en moscovitas de los cuerpos pegmatíticos de Panceiros, la pegmatita de Presqueira y los tres posibles granitos parentales: granito de dos micas de grano medio a grueso (GRP), granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) y el granito de dos micas inhomogéneo (GRT)

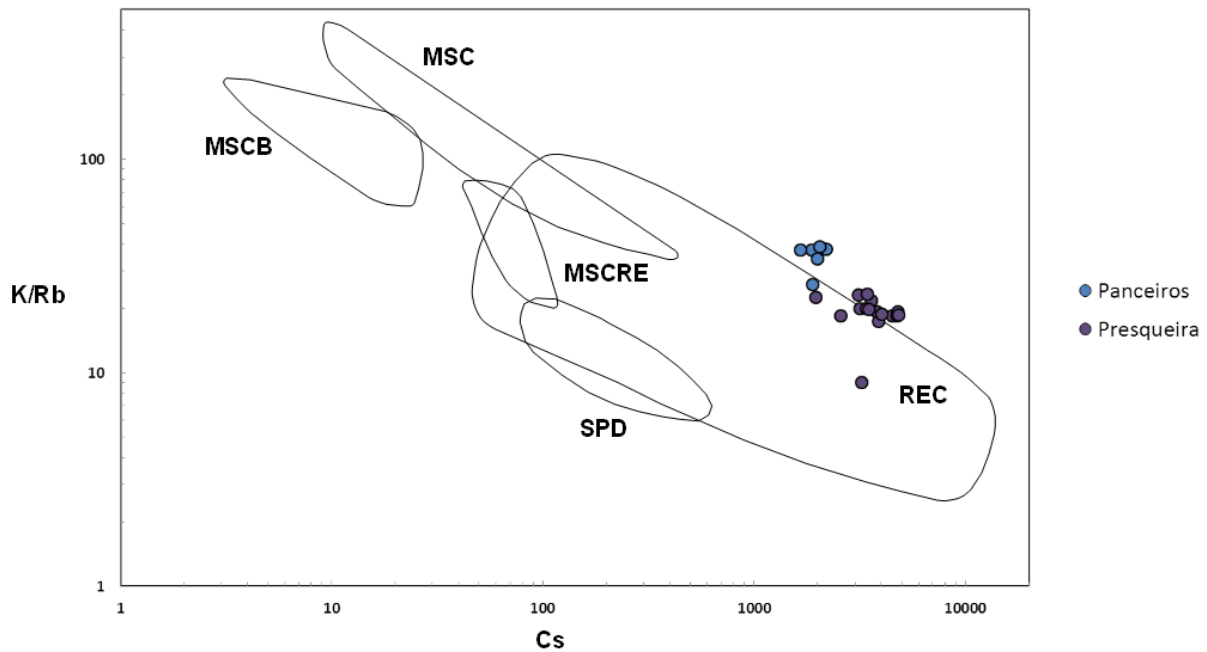


Figura 69. Contenidos en Cs respecto a la relación K/Rb en moscovitas asociadas a las diferentes clases pegmatíticas basados en datos de pegmatitas de todo el mundo. MSCB: Clase moscovítica estériles, MSC: clase moscovítica, MSCRE: clase moscovítica-elementos escasos, REC: clase de elementos escasos, SPD: pegmatitas de espodumena (modificado de Černý et al.,1981). Se han proyectado los datos de las moscovitas de los cuerpos pegmatíticos de Panceiros y la pegmatita de Presqueira.

## Granate

La composición química de los granates presentes en pegmatitas está restringida a la serie almandino-espesartina con proporciones variables, aunque generalmente bajas, de magnesio y calcio. Los granates de pegmatitas de la clase moscovítica se caracterizan por elevados contenidos en magnesio y calcio, y proporciones altas de hierro en relación al manganeso. En el caso de las pegmatitas de la clase de elementos escasos, las anteriores proporciones se invierten, son granates principalmente espesartíticos, con cantidades bajas de hierro, y notablemente empobrecidos en magnesio y calcio (Černý y Hawthorne, 1982).

Considerando lo anterior, y como el granate sólo está presente en las pegmatitas de Panceiros se han representado sus valores de FeO, MnO y MgO en el diagrama propuesto por Černý y Hawthorne (1982) de la figura 70. Este define campos de composición de granate en función de clases pegmatíticas, la composición del granate de las pegmatitas de Panceiros las sitúan en el campo de intersección entre la clase de elementos escasos y la clase moscovítica.

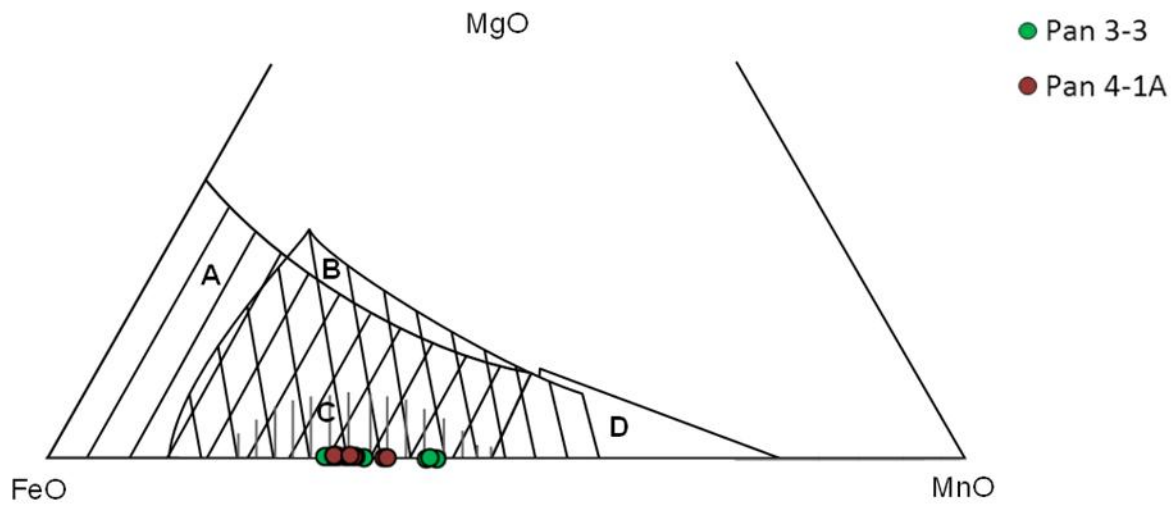


Figura 70. Campos composicionales de granates que aparecen en distintas clases de pegmatitas (modificado de Černý y Hawthorne, 1982). (A) y (B) clase moscovítica, (C) intersección entre clase moscovítica y de elementos escasos, (D) clase de elementos escasos. Se representan los granates correspondientes a dos cuerpos pegmatíticos de Panceiros.

## CONCLUSIONES

Los cuerpos pegmatíticos de Panceiros, se encajan en los esquistos del grupo Santa Baia (parte del autóctono del Dominio Esquistoso de Galicia Tras-Os-Montes), mientras que la pegmatita de Presqueira se emplaza en los metasedimentos del Grupo Paraño (Para-autóctono). Los cuerpos pegmatíticos de Panceiros presentan una estructura interna heterogénea, manifestando, los cuerpos de mayor tamaño, un cierto bandeo. En el caso de la pegmatita de Presqueira, ésta presenta una estructura interna bandeada. Los rasgos microestructurales y macroestructurales (Presqueira) observados en estas pegmatitas, ponen de manifiesto la deformación a la que han sido sometidas estas rocas, siendo más intensa en la pegmatita de Presqueira. Esta deformación está probablemente en relación a la banda de cizalla subvertical que afectó a los metasedimentos y rocas ígneas de esta zona durante la tercera fase de deformación Varisca, a la cual corresponden el sinforme de Forcarey y el antiforme de Cotobade (Barrera et al.1989, Fuertes-Fuente y Martín-Izard, 1998).

Los cuerpos pegmatíticos de Panceiros constituyen un campo pegmatítico en sentido estricto, ya que están relacionados genéticamente como se pudo observar en los grafico K/Rb vs. Rb, realizados en feldespatos potásico y moscovitas, donde mostraban una tendencia bien definida. Por otra parte, estos gráficos, junto con la geoquímica de roca total, donde se observan mayores contenidos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{TiO}$ , y menores en elementos incompatibles del grupo de los metales escasos como Li, Rb, Cs, Be, Ta, Nb y Sn en las pegmatitas de Panceiros, han mostrado que la pegmatita de Presqueira ha alcanzado un grado superior de diferenciación respecto al campo pegmatítico de Panceiros. Esto mismo queda reflejado en los contenidos extremadamente bajos en tierras raras de la pegmatita de Presqueira que, de acuerdo a varios autores como Cerny (1997), caracteriza a pegmatitas muy diferenciadas.

Como se pudo observar en el gráfico que enfrenta la relación K/Rb con los contenidos en Cs, en moscovitas de diferentes tipos de pegmatitas, propuesto por Černý et al. (1981), parte de las moscovitas de Panceiros y de la pegmatita de Presqueira caen dentro del campo que delimita la clase de elementos escasos. Además, se proyectaron los granates correspondientes a dos cuerpos pegmatíticos de Panceiros en el diagrama triangular de Černý y Hawthorne (1982), los cuales caen dentro del campo de intersección entre la clase moscovítica y de elementos escasos. Por último, se comprobó que en los halos de alteración del encajante de estas pegmatitas Panceiros, se produce un aporte de Li, Cs, Rb, Be y Sn. Rubidio y cesio están presentes como trazas en los feldespatos y moscovitas de estas pegmatitas aunque no se observó mineralización portadora de Li, Be y Sn. Por todo esto, se han clasificado como pegmatitas estériles pero pertenecientes a la clase de elementos escasos, más concretamente de la familia LCT (litio-cesio-tántalo) (Černý y Ercit, 2005). Por otro lado, y de acuerdo a la zonación regional de tipos de pegmatitas (figura 3) propuesta por London (2008), modificada de Trueman y Černý (1982), estarían muy próximas al granito parental.

La pegmatita de Presqueira se clasifica como pegmatita de elementos escasos de la familia LTC por los contenidos elevados en Li, Cs, Rb, Be y Sn, además de Ta y Nb, comentados previamente. En esta pegmatita, sí se observa mineralización portadora de estos elementos, así el rubidio y cesio estarían como trazas en feldespatos y moscovita al igual que ocurre en las pegmatitas de Panceiros. El litio estaría presente en espodumena, montebrasita y petalita, esta última representaría un porcentaje mucho menor. En cuanto al estaño, niobio y tántalo, las fases portadoras serían casiterita, en algunos casos tantalífera, óxidos del grupo de la columbo-tantalita y, menos frecuente ferrotapiolita. Los óxidos de Ta-Nb se presentan en cristales zonados cuya composición varía dentro de un mismo cristal de ferrocolumbita a ferrotantalita, con una etapa tardía especialmente rica en tántalo.

Fuertes-Fuente (1996), Fuertes-Fuente y Martín-Izard (1998) clasificaron las pegmatitas del campo de Forcarey Sur en varios tipos dentro de la clase de elementos escasos cuyo grado de diferenciación aumentaba de este a oeste a medida que se alejaban del posible granito parental. Entre estos tipos definieron el de pegmoaplitas de albita-espodumena que, de acuerdo a la zonación establecida por estos autores, incluiría a los cuerpos del entorno de la pegmatita de Presqueira. En el presente trabajo se ha identificado la presencia de petalita en intercrecimientos vermiculares de grano muy fino que progresivamente pasan a intercrecimientos espodumena y cuarzo de grano grueso, estas texturas se han interpretado como resultado de una desestabilización de petalita primaria a espodumena más cuarzo. En base a esto, y aunque se precisa de estudios futuros para confirmar esta hipótesis, proponemos que en este campo se pudieron formar pegmatitas del tipo complejo de petalita de acuerdo a la clasificación de Cerný y Ercit (2005) (figura 1). Como la petalita se desestabilizó a espodumena en la evolución posterior de estos cuerpos y sólo se conservan escasos relictos, posiblemente muchos de los cuerpos, sino todos, clasificados previamente como de albita-espodumena serían de tipo complejo de petalita. La presencia de esta tipología indica que este campo pegmatítico alcanzó un grado de diferenciación mayor que el propuesto por los autores arriba mencionados. Esto tiene implicaciones desde el punto de vista del interés de este campo como fuente de elementos escasos, ya que considerando la zonación regional de tipos pegmatíticos de London (2008), las mayores concentraciones en estos elementos se localizan en pegmatitas del tipo complejo (figura 3). Por otro lado, en base a los campos de estabilidad de los aluminosilicatos de litio de London y Burt (1982), la presencia de los relictos de petalita también tiene implicaciones en las condiciones de presión y temperatura a la que se formaron estos cuerpos (figura 38). A partir del estudio de inclusiones fluidas en las pegmatitas de albita-espodumena de este campo, Fuertes-Fuente y Martín-Izard (1998) dieron unas condiciones mínimas para el estadio inicial de formación de estas pegmatitas de 3 Kb y 550°C. Estas condiciones son coherentes con la presencia de petalita primaria, además el campo de estabilidad de este mineral (figura 38) permite acotar el intervalo de presión para el estadio inicial de formación de estas pegmatitas a un límite superior de 4 Kb.

Cerný y Ercit, consideran que las pegmatitas de elementos escasos, están asociadas a cuerpos graníticos peraluminicos y del tipo S, premisas que cumplen cualquiera de los



granitos estudiados. Los gráficos realizados para feldespatos potásicos y moscovitas, correspondientes a los tres granitos considerados como posible granito parental, que enfrentan la relación K/Rb con los contenidos en Rb, así como K/Cs vs. Cs, muestran un solapamiento de los datos, aunque parece ser más diferenciado el granito de dos micas de grano fino a medio (GRM). Del mismo modo en el diagrama triangular de El-Bouseily y El-Sokkary (1975), donde se proyectan los contenidos en Rb, Ba y Sr, los tres granitos caen dentro del campo que delimita los granitos fuertemente diferenciados, siendo el granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) el más diferenciado de los tres. Además, como se observó en los diagramas spider de tierras raras (REE), los tres granitos presentan la anomalía negativa de Eu, siendo la más marcada la del granito de dos micas de grano fino a medio (GRM) indicando un mayor grado de diferenciación magmática. Por tanto, proponemos este último como el posible granito parental de estas pegmatitas.

La caracterización petrográfica de estas pegmatitas así como los estudios mineralógicos ponen de manifiesto la evolución de los cuerpos pegmatíticos de Panceiros y la pegmatita de Presqueira. En general, en todas estas pegmatitas se distingue una etapa primaria de cristalización magmática de los principales silicatos, a excepción del fluorapatito, que en algunos casos se presenta en equilibrio con los silicatos. Posteriormente, hay etapas tardí-magmáticas de reemplazamiento de las fases silicatadas primarias representadas tanto por las paragénesis fosfatadas como por la albitización de los feldespatos. Las relaciones texturales parecen indicar que la albitización podría estar asociada con las paragénesis más tempranas de fosfatos aluminicos, aunque se requieren más estudios para asegurarlo. Aunque la albitización es común a las pegmatitas de Panceiros y a la de Presqueira, las paragénesis de fosfatos aluminicos son diferentes en cada caso. En las pegmatitas de Panceiros, el fosfato aluminico es de Fe-Mn (Eosphorita-Childrenita), mientras que en Presqueira, los fosfatos aluminicos son de Li y de Sr, montebrasita y goyacita, respectivamente. Posteriormente, habría una etapa tardía de fosfatos de Ca-Fe-Mn, representada en las pegmatitas de Panceiros por manganoapatito, y en el cuerpo de Presqueira por fluorapatito, vivianita y messelita. En general, se observa que los fosfatos muestran un reemplazamiento selectivo del granate (en Panceiros) y del feldespato, que se explicaría por el contenido relativamente alto en fósforo de estos silicatos. Cabe mencionar que la albitización es mucho más intensa en la pegmatita de Presqueira que en las de Panceiros, eso explicaría el mayor contenido en sodio en los análisis de roca total de la pegmatita de Presqueira frente a las de Panceiros. Fuertes-Fuente (1996) y Fuertes-Fuente y Martín-Izard (1998) relacionan mayor grado de albitización con aumento de la probabilidad de mineralización en elementos escasos, los estudios llevados a cabo en este trabajo parecen confirmar lo propuesto por estos autores.

En el campo pegmatítico de Panceiros, los metasedimentos en los halos de alteración entorno a los cuerpos sufren una ganancia de masa, por adición de  $\text{SiO}_2$  y una pequeña proporción de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , lo cual puede explicarse por la neoformación en el encajante alterado de cuarzo y moscovita. Sin embargo, en los halos de alteración de la pegmatita de Presqueira los metasedimentos encajantes sufren una importante pérdida de masa por

lixiviado de  $\text{SiO}_2$ , y una pequeña adición de  $\text{MgO}$ . Esta pérdida de  $\text{SiO}_2$  no queda reflejada claramente en la mineralogía, por lo que podría ser un resultado erróneo debido al bajo número de muestras usadas en los cálculos o, por el contrario, ser una característica de las zonas de alteración en este tipo de pegmatita. Otra posibilidad podría ser la lixiviación de sílice en relación a la cizalla que afecta a estas rocas. En cuanto a los elementos traza, como se ha comentado anteriormente, tanto en las pegmatitas de Panceiros como en la de Presqueira hay un aporte de Cs, Rb, Li y Sn en los halos de alteración del encajante y a estos elementos hay que añadir el boro, cuyo aporte queda registrado por la neoformación de abundante turmalina. Estudios futuros centrados en las alteraciones del encajante permitirían certificar todos estos resultados previos así como indagar en otros aspectos en los no se ha profundizado en este trabajo fin de master, tales como la mineralogía de los halos de alteración que justifica la incorporación de estos elementos traza.

## REFERENCIAS

- Abad-Ortega, M.M. (1993). *Mineralogía y geoquímica de las pegmatitas de Sierra Albarrana (provincia de Córdoba)*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. 294 p.
- Alfonso Abella, P., Melgarejo i Draper, J.C., Corbella i Cornomi, M. (1995). *Nb-Ta minerals from the Cap de Creus pegmatite field, Eastern Pyrenees: distribution and geochemical trends*. *Mineralogy and Petrology*, 55 (1-3): 53-59.
- Alfonso Abella, P., Melgarejo i Draper, J.C. (2003). *Geochemistry of feldspar and muscovite in granitic pegmatite from the Cap de Creus field, Catalonia, Spain*. *Canadian Mineralogist*, 41: 103-116.
- Arenas, R., Martínez-Catalán, J. R. y Díaz García, F. (coords.) (2004). *Zona de Galicia-Trás-os-Montes*. En: Vera Torres, J. A. *Geología de España*. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España. pp. 133–165.
- Arribas, A. (1967). *Mineralogía y metalogenia de los yacimientos españoles de uranio: Sierra Albarrana (Córdoba)*. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 61: 63-65.
- Barrera, J.L., Farias, P., González, F., Marquínez, J., Martín, L.M., Martínez, J.R., Del Olmo, A. y De Pablo, J.G. (1989). *Mapa geológico 1:200.000 de Ourense/Verín. Memoria explicativa*. Publicación I.T.G.E.
- Bartlett, S. C. (2014). *NI 43-101 Alberta-1 rare metals project Galicia- Technical Report*. Solid Resources Limited Spain. 148 p.
- Beus, A.A Y Sitnin, A.A. (1968): *Geochemical features of the distribution of Ta in granitoids*. *Geokhimiya*, p. 579-585.
- Breiter, K., Novak, M., Koller, F., Cempírek, J. (2005). *Phosphorus – an omnipresent minor element in garnet of diverse textural types from leucocratic granitic rocks*. *Mineralogy and Petrology*, 85: 205-221.
- Brown, C. (1999). *Mineralogy of NYF granitic pegmatites*. En: The Eugene E. Foord Memorial Symposium on NYF-type Pegmatites (Denver). *Canadian Mineralogist*, 37: 848-849 (abstract).
- Bushev, A.G. (1975). *Linkage of muscovite pegmatites with granites*. En: *Muscovite Pegmatites of the USSR*. Nauka, Leningrad, USSR. 72-84.

- Cameron, E.N., Jahns, R.H., McNair, A.H. y Page, L.R. (1949). *Internal structure of granitic pegmatites*. Economic Geology, Monograph 2.
- Canosa, F., Martín-Izard, A., Fuertes-Fuente, M. (2012). *Evolved granitic systems as a source of rare-element deposits: The Ponte Segade case (Galicia, NW Spain)*. Lithos, (153): 165-176.
- Černý, P., Trueman, D.L., Ziehlke, D.V., Goad, B.E. & Paul, B.J. (1981). *The Cat Lake – Winnipeg River and the Wekusko Lake pegmatite fields, Manitoba*. Manitoba Energy & Mines, Econ. Geol. Rep. ER80–1.
- Černý, P. (1982). *Anatomy and classification of granitic pegmatites*. En P. Černý (Ed.), Granitic pegmatites in Science and Industry. Mineralogical Association of Canada, Short Course handbook, 8: 1-32.
- Černý, P. y Hawthorne, F.C. (1982). *Selected peraluminous minerals*. En: Černý, P. (Ed.), Granitic pegmatites in Science and Industry. Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook, 8: 136-186
- Černý, P., Burt, D.M. (1984). *Paragenesis, crystallochemical characteristics, and geochemical evolution of micas in granite pegmatites*. En: Bailey, S.W. (ed.) Micas. Reviews in Mineralogy, 13: 257-297.
- Černý P, Ercit S (1985). *Some recent advances in the mineralogy and geochemistry of Nb and Ta in rare-element granitic pegmatites*. Bull Minéral 108: 499-532
- Černý P, Ercit S (1989). *Mineralogy of niobium and tantalum: crystal chemical relationships, paragenetic aspects and their economic implications*. En: Möller P, Černý P, Saupé F (eds) Lanthanides, Tantalum and Niobium. SGA Special Publications 7: Springer-Verlag, New York, 27-29
- Černý, P. (1990). *Distribution, affiliation and derivation of rare-element granitic pegmatites in the Canadian Shield*. Geologische Rundschau, 79: 183-226.
- Černý, P. (1991a). *Fertile granites of Precambrian rare-element pegmatite fields: is geochemistry controlled by tectonic setting or source lithologies?* Precambrian Research, 51: 429-468.
- Černý, P. (1991b). *Rare-element granitic pegmatites.I. Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits*. Geoscience Canada, 18: 49-67.
- Černý, P. (1992). *Geochemical and petrogenetic features of mineralization in rare-element granitic pegmatites in the light of current research*. Appl. Geochem., 7: 393-416

- Černý, P. (1997). *REE trends in rare-element granitic pegmatites: enrichment vs. depletion in granite-to-pegmatite sequences*. Journal of the Czech Geological Society, 42 (3): 34.
- Černý, P. (2000). *Constitution, petrology, affiliations and categories of miarolitic pegmatites*. En: Mineralogy and petrology of shallow depth pegmatites. En: papers from the First International Workshop (F.Pezzotta, ed.) Memorie della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale Milano, 30: 5-12.
- Černý, P., Ercit, T.S. (2005). *The classification of granitic pegmatites revisited*. The Canadian Mineralogist, 43: 2005-2026.
- Corbella i Cornomi, M., Melgarejo i Draper, J.C. (1990). *Características y distribución de los fosfatos de las pegmatitas graníticas de la península del Cap de Creus (Pirineo oriental Catalán)*. Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía 13: 169-182.
- El-Bouseily, A.M. Y El-Sokkary, A.A. (1975): *The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks*. Chern. Geol., 16: 207-219.
- Ercit, T.S. (1992). *Oxide mineralogy of the Mattawa pegmatite district-extreme Ta fractionation for muscovite-class pegmatites*. Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada., Program Abstract. 17: A32.
- Ercit, T.S. (2005). *REE-enriched granitic pegmatites*. En: Rare-Element Geochemistry and Mineral Deposits (R.L. Linnen e I.M. Samson, eds.). Geological Association of Canada, Short Course Notes, 17: 175-199.
- Farias, P., Gallastegui, G., Gonzalez Lodeiro, F., Marquinez, J., Mantin Parra, L.M., Pablo Macia, J.G. de y Rodriguez Fernandez, L.R. (1987). *Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central*. Memoria Facultad de Ciencias Universidad de Porto, I: 411-431.
- Farias, P. y Marcos, A. (2004). *Zona de Galicia-Trás-os-Montes*. En: Vera Torres, J. A. Geología de España. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España. 135–138.
- Fuertes-Fuente, M. (1996). *Las pegmatitas del área de Lalín-Forcarey (Galicia) y las mineralizaciones de elementos escasos asociadas*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo. 280 p.
- Fuertes-Fuente, M., Martín-Izard, A. (1996a). *El campo pegmatítico de Lalín y sus mineralizaciones de Sn, Ta y Nb asociadas (Pontevedra, Galicia, España)*. Geogaceta, 20 (7): 1590-1593.

- Fuertes-Fuente, M., Martín-Izard, A. (1996b). *El campo pegmatítico de Forcarey Norte y sus mineralizaciones de fosfatos asociadas (Galicia, España)*. Geogaceta, 20 (7): 1598-1600.
- Fuertes-Fuente, M., Martín-Izard, A. (1998). *The Forcarey Sur rare-element (Sn, Ta, Nb, Li, Be, Rb and P) granitic pegmatite field and its associated meralization*. Canadian Mineralogist, 36 (2): 303-325.
- Fuertes-Fuente, M., Martín-Izard, A., Boiron, M.C., Mangas, J. (2000a). *Fluid evolution of rare-element and muscovite granitic pegmatites from Central Galicia, NW Spain*. Mineral Deposits, 32: 332-345.
- Fuertes-Fuente, M., Martín-Izard, A., Boiron, M.C., Mangas, J. (2000b). *P-T path and fluid evolution in the Franqueira granitic pegmatite, Central Galicia, Northwestern Spain*. Canadian Mineralogist, 38: 1163-1175.
- Fuertes-Fuente, M., Martín-Izard, A. (2001). *The Forcarey Norte and Lalín pegmatite field, Galicia, Northwest of Spain*. En: Mineral Deposits at the beginning of the 21<sup>st</sup> century. Balkena, ISBN 90 2651 846 3, Rotterdam. 413-416
- Gallego Garrido, M. (1992). *Las mineralizaciones de litio asociadas al magmatismo ácido en Extremadura y su encuadre en la zona Centro Ibérica*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 323 p.
- Ginsburg, A.I., Timofoyen, I.N., Feldman, L.G. (1979). *Principles of geology of the granitic pegmatites*. Nedra, Moscow.
- González del Tanago, J., Bellido Mulas, F., García Cacho, L. (1986). *Mineralogía y evolución de las pegmatitas graníticas de La Cabrera (Sistema Central Español)* 801. Geología y Minería, 97 (i): 103-121.
- González del Tanago y del Río, J. (1995). *El núcleo metamórfico de Sierra Albarrana y su campo de pegmatitas graníticas asociado. Macizo Ibérico, Córdoba, España*. Laboratorio Xeológico de Laxe, serie Nova Terra, 12: 714 p.
- Gordiyenko, V.V. y Leonova, V.A., eds. (1976). *Mica-Bearing pegmatites of Northern Karelia*. Nedra, Leningrad, USSR (in Russ.).
- Gordiyenko, V.V. (1996). *Granitic pegmatites*. SPGU, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia (in Russ.).
- Gorlov, N.V. (1975). *Structural principles of exploration for pegmatite deposits in northwestern White Sea region*. En: Muscovite Pegmatites of the USSR. Nauka, Leningrad, USSR (146-153; in Russ.)



- Groat, L.A., Raudsepp, M., Hawthorne, F.C., Ercit, T.S., Sherriff, B.L., and Hartman, J.S. (1990). *The amblygonite-montebbrasite series: Characterization by singlecrystal structure refinement, infrared spectroscopy, and multinuclear MAS-NMR spectroscopy*. American Mineralogist, 75: 992–1008.
- Groat, L.A., Chakoumakos, B.C., Brouwer, D.H., Hoffman, C.M., Fyfe, C.A., Morell, H., Schultz, A.J. (2003) *The amblygonite (LiAlPO<sub>4</sub>F)-montebbrasite (LiAlPO<sub>4</sub>OH) solid solution: A combined powder and single-crystal neutron diffraction and solid-state <sup>6</sup>Li MAS, CP MAS, and REDOR NMR study*. American Mineralogist, 88: 195–210.
- Heinrich, E.W. (1948). *Pegmatites of Eight Mile Park, Fremont County, Colorado*. American Mineralogist 33: 420-448 y 550-588.
- Hensen, B.J. (1967). *Mineralogy and petrography of some tin-lithium and beryllium bearing albite pegmatites near Doade, Galicia (Orense)*. Leidse. Geol. Med., 36: 249-259.
- Jahns, R.H. (1955). *The study of pegmatites*. Economic Geology, 50<sup>th</sup> Anniversary volume, 1025-1130.
- Klein, E. y Hilgen, J.D. (1982). *Mapa geológico de Cerdedo 1:50.000*. Memoria explicativa. Publicación I.T.G.E. 1-75.
- Lathi, S.I. (1987). *Zoning in columbite-tantalite crystals from the granitic pegmatites of Eräjärvi area, southern Finland*. Geochim. Cosmochim. Acta, 51: 509-517.
- London, D. and Burt, D. M. (1982b): *Lithium aluminosilicate occurrences in pegmatites and the lithium alumino silicate phase diagram*. American Mineralogist, 67: 483-493.
- London, D. (2008). *Pegmatites*. Canadian Mineralogist, special publication 10. R.F. Martín (Ed.) MAC. Quebec Canada. pp. 349.
- Marcos, A. y Llana-Funez, S. (2002). *Estratigrafía y estructura de la lámina tectónica del Para-autóctono y de su autóctono en el área de Chantada (gálica, No de España)*. En trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 23: 53-72.
- Marquínez, J.L. Y Klein, E. (1982). *Evolución temporal y distribución del metamorfismo en el Área Esquistosa de Galicia Central (NO de España)*. Trabajos de Geología de la Universidad de Oviedo, 12: 227-242.
- Marquínez, J. (1984). *La geología del Área Esquistosa de Galicia Central (Cordillera herciniana, NW de España)*. Memoria del I.G.M.E. 100: 213 p.
- Martín-Izard, A., Reguilón, R., Palero, F. (1992). *Las mineralizaciones litiníferas del oeste de Salamanca y Zamora*. Estudios geológicos, 48(1,2):19-30.

- Martín-Izard, A., paniagua, A., Moreiras, D., Acevedo, R.D., Marcos- Pascual, C. (1995). *Metasomatism at a granitic-pegmatite-dunite contact in Galicia: The Franqueira occurrence of chrysoberyl (alexandrite), esmerald, and phenakite*. Canadian Mineralogist, 33: 775-792.
- Martín-Izard, A., Fuertes-Fuente, M., Arribas, A. (2010). *Yacimientos españoles de Minerales con elementos metálicos y oro asociados al magmatismo ácido*. En: Loredó Pérez, T. Nuevos retos en la prospección e investigación de los recursos minerales. Libro homenaje al profesor Jesús García Iglesias. 369–440.
- Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Díaz García, F., Rubio Pascual, F.J., Abati, J. y Marquínez, J. (1996) *Variscan exhumation of a subducted Paleozoic continental margin: The basal units of the Ordenes Complex, Galicia, NW Spain*. Tectonics, 15(1): 106-121.
- Mineyev, D.A. y Salye, M.E. (1971). *Some characteristics of the geochemistry of ultrametamorphogenic mica-bearing pegmatites of northern Karelia*. En: pegmatitic Rare-Metal Deposits, 4: 59-82 (in Russ.).
- Nizamoff, J.W., falster, A.U., Simmons, W.B. y Webber, K.L. (1999). *Phosphate mineralogy of NYF-, LCT- and mixed-type granitic pegmatites*. En: The Eugene E. Foord Memorial Symposium on NYF-type Pegmatites (Denver). Canadian Mineralogist, 37: 853-854 (abstract).
- Pan, Y. (1997). *Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect ± a discussion of the article by M. Bau (1996)*. Contrib. Mineral. Petrol., 128, 405-408
- Paraskovopoulos, G.M. (1953): *Beitrag Zur Kenntnis der Fesdspate der Tessiner Pegmatite*. T.M. P.M. Ser., 3 (3): 191-271.
- Pasero, M., Kampf, A.R., Ferraris, C., Pekov, I.V., Rakovan, J., White, T.J. (2010). *Nomenclature of the apatite supergroup minerals*. European Journal of Mineralogy, 22: 163–179.
- Plüumber, O. y Putnis, A. (2009). *The Complex Hydrothermal History of Granitic Rocks: Multiple Feldspar Replacement Reactions under Subsolvus Conditions*. Journal of Petrology, 50 (5): 967-987.
- Roda Robles, E., Fontan, F., Pesquera, A., Keller, P. (2001). *Phosphate mineral association of the Aldehuela de la Bóveda Li-Sn-Nb±Ta- bearing pegmatite (Salamanca, Spain)*. En: Mineral Deposits at the beginning of the 21<sup>st</sup> century. Balkema, ISBN 90 2651 846 3, Rotterdam. 477-480.

- Roda Robles, E., Pesquera, A., Gil-Crespo, P.P., Torres-Ruíz, J., Fontan, F. (2005). *Origin and internal evolution of the Li-F-Be-B-P-bearing Pinilla de Fermoselle pegmatite (Central Iberian Zone, Zamora, Spain)*. American Mineralogist, 90: 1887-1899.
- Rollinson, H.R. (1993). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Scientific and Technical, Harlow (U.K) pp. 352
- Shand, S.J. (1927). *The Eruptive Rocks*. John Wiley, New York pp. 360.
- Schneiderhöhn, H. (1961). *Die Erzlagerstätten der Erde. II. Die Pegmatite*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany.
- Shearer, C ., Papike, J .J. & J olliff, B .L. (1992). *Petrogenetic links among granites and pegmatites in the Harney Peak rare-element granite – pegmatite system, Black Hills, South Dakota*. Canadian Mineralogist, 30: 785-810.
- Shmakin, B.M., Makagon, V.M. (1972). *Physicochemical conditions of formation of the muscovite-bearing pegmatites*. Proceedings of the international geological Congress (Moscow), 3 (2): 591-599.
- Shmakin, B. M. (1976). *Muscovite and Rare Metal-Muscovite Pegmatites*. Nauka, Novosibirsk, USSR (in Russ.).
- Smeds, S.A. (1992). *Trace elements in potassium-feldspar and muscovite as a guide in the prospecting for lithium-and tin-bearing pegmatites in Sweden*. Journal Geochemical Exploration, 4d2, p. 351-369.
- Sokolov, Y.M., Kratz, K.O. y Glebovitskyi, V.A. (1975) *Regularities in the formation and distribution of the muscovite and muscovite-rare metal pegmatite formations in metamorphic belts*. In Muscovite Pegmatites of the USSR. Nauka, Leningrad, USSR (5-15; in Russ.)
- Solodov, N.A. (1971). *Scientific Principles of perspective Evaluation of Rare-Element pegmatites*. Nauka, Moscow, USSR (in Russ.).
- Taylor, S.R., McLennan, S.H. (1985). *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford pp. 312.
- Tischendorf, G., Rieder, M., Förster, H.J., Gottesmann, B. Y Guidotti, CH.V. (2004): A new graphical presentation and subdivision of potassium micas. Mineralogical Magazine 68(4): 649-667

- Trueman, D.L. y Černý, P. (1982). *Exploration of rare-element granitic pegmatites*. En: Černý, P. (Ed.), *Granitic pegmatites in Science and Industry*. Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook, 8: 463-494.
- Wood, P.A. (1996). *Petrogenesis of the Spruce Pine Pegmatites, North Carolina*. M. Sc. Thesis, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, USA.
- Ypma, P.J.M. (1966). *Structural petrology of an area near Santiago de Compostela. (NW Spain)*. Leidse. Geol. Med.,45:1-71.